

На правах рукописи

**Тойгильдин Александр Леонидович**

**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
БИОЛОГИЗАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И ВОСПРОИЗВОДСТВА  
ПЛОДОРОДИЯ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО  
ЛЕСОСТЕПИ ПОВОЛЖЬЯ**

Специальность: 06.01.01 – общее земледелие, растениеводство

**Автореферат**

диссертации на соискание учёной степени  
доктора сельскохозяйственных наук

Усть-Кинельский – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

**Научный консультант:**

**Морозов Владимир Иванович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, зав. кафедрой земледелия и растениеводства.

**Официальные оппоненты:**

**Лошаков Владимир Григорьевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, ФГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова», главный научный сотрудник.

**Новоселов Сергей Иванович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», зав. кафедрой общего земледелия, растениеводства, агрохимии и защиты растений.

**Денисов Константин Евгеньевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», профессор кафедры земледелия, мелиорации и агрохимии.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства».

Защита диссертации состоится «    »    2018 года в \_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 999.091.03 на базе ФГБОУ ВО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия», по адресу: 446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть - Кинельский, ул. Учебная, 2; тел./факс 8-(846-63)-46-1-31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарская государственная сельскохозяйственная академия» и на сайте [www.ssaa.ru](http://www.ssaa.ru)

Адрес: 446442, Самарская область, г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ФГОУ ВО Самарская ГСХА, ул. Учебная, 1, диссертационный совет

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

**Ученый секретарь  
диссертационного совета**

**Троц Наталья Михайловна**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Лесостепная зона Поволжья обладает уникальными природно-экономическими условиями для сельскохозяйственного производства, где исторически сложилась зерно-мясо-молочная специализация сельского хозяйства, которая определяла структуру эффективного использования пашни на основе принципов плодосмена.

Однако в последние десятилетия в хозяйствах зоны снизилось поголовье скота, сократился объем внесения органических удобрений, изменилась структура посевных площадей, на полях преобладает зерновая монокультура, что неизбежно ведет к деградации почвенного плодородия и снижению продуктивности пашни.

В земледелии лесостепи Поволжья в балансе энергетических ресурсов агроландшафтных экосистем расходная часть не компенсируется приходной. На территории Ульяновской области за последние 50 лет существенно сократились почвы, относящиеся к категории среднегумусированных, увеличились площади мало-гумусированных и слабогумусированных почв (на 44 тыс. га). При остром дефиците органического вещества происходит деградация черноземных и других почв зоны, что вызывает замедление роста урожаев, снижение качества продукции, ее удорожание.

В условиях дороговизны техногенных ресурсов и экологической напряженности для обеспечения устойчивого функционирования агроэкосистем необходимы альтернативные подходы к разработке агротехнологий, базирующихся на концепции биологизации земледелия, что продиктовано интересами сокращения затрат материально-денежных средств на производство продукции растениеводства и воспроизводство плодородия почвы (Кирюшин В.И., 2000; Лошаков В.Г., 2012).

Актуальность биологизации земледелия заключается в том, чтобы придать ему энерго-ресурсосберегающий и устойчивый характер развития. Разработка и обоснование приемов биологизации для повышения продуктивности пашни и воспроизводства плодородия почвы являются актуальными задачами современного земледелия, в том числе и в условиях лесостепной зоны Поволжья.

Их решению были посвящены наши исследования, которые выполнялись в ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ в соответствии с пятилетними планами НИР университета, прошедшими Государственную регистрацию: «Воспроизводство биогенных ресурсов плодородия в агробиоценозах, обеспечение их производительности и устойчивости на основе адаптивной интенсификации в системах земледелия лесостепи Поволжья (№ 01.200.2.03525, 20062010 гг.)» и «Биологизация севооборотов, воспроизводство биогенных ресурсов и регулирование плодородия чернозема выщелоченного лесостепи Поволжья (№ 01.201.1.57938, 2011-2015 гг.)».

**Цель исследований:** научно-практическое обоснование биологизации земледелия с целью повышения устойчивости и экономической эффективности производства растениеводческой продукции и сохранения плодородия почв в условиях лесостепной зоны Поволжья.

**Задачи исследований:**

- оценить биоклиматический потенциал и продуктивность полевых культур в лесостепной зоне Поволжья;
- изучить динамику водно-физических показателей плодородия почвы при биологизации полевых севооборотов;

- оценить продуктивность азотфиксации зернобобовых культур и многолетних бобовых трав как фактора биологизации в зависимости от систем обработки почвы и удобрения в севооборотах;

- изучить влияние полевых культур и севооборотов на микробиологическую активность почвы и фитосанитарное состояние агрофитоценозов;

- выявить вклад полевых культур и севооборотов в накопление биогенных ресурсов плодородия почвы при биологизации;

- изучить особенности формирования урожая полевых культур и продуктивности севооборотов при их биологизации в условиях лесостепи Поволжья;

- дать экономическую и энергетическую оценку эффективности биологизации экспериментальных севооборотов в условиях лесостепи Поволжья.

**Научная новизна.** В работе приводятся результаты комплексных исследований биологизации севооборотов в системах земледелия лесостепной зоны Поволжья.

Впервые разработаны модели звеньев и полевых биологизированных севооборотов с оптимальным сочетанием чистых и занятых паров (бобовые фитоценозы) на органоминеральных фонах удобрения, ориентированных на высокую продуктивность, экономическую эффективность и воспроизводство плодородия чернозема выщелоченного.

Расширены и углублены знания, позволяющие оптимизировать и разрабатывать новые модели поливидовых посевов зерновых бобовых и многолетних трав как факторов биологизации, обладающих максимальной продуктивностью.

Впервые определена модель взаимозависимости водно-физических свойств чернозема выщелоченного (плотность, твердость и влажность) в условиях биологизации земледелия.

Впервые научно обоснована и экспериментально доказана эффективность систем основной обработки почвы в биологизированных севооборотах с учетом их положительного влияния на продуктивность полевых культур и достижения высокой экономической и энергетической эффективности для условий лесостепной зоны Поволжья. Экспериментально также доказана эффективность органоминеральных систем удобрения с оптимальными дозами NPK, сориентированных на повышение продуктивности пашни, воспроизводство плодородия почвы и окупаемость затрат при возделывании сельскохозяйственных культур в биологизированных севооборотах.

**Теоретическая и практическая значимость.** Дано теоретическое обоснование концепции биологизации земледелия на черноземных почвах лесостепного Поволжья, которое заключается в усилении продукционных функций полевых культур на основе плодосмена; в накоплении биогенных ресурсов для воспроизводства плодородия почвы; вовлечении биологического азота бобовых агрофитоценозов в биотический круговорот вещества и энергии; использовании фитосанитарных и экологических функций полевых культур и севооборотов. Доказано, что практическая реализация биологизации земледелия возможна путем насыщения полевых севооборотов зерновыми бобовыми культурами, бобовыми многолетними травами, с помощью органоминеральных систем удобрения с использованием сидератов и соломы зерновых и зернобобовых культур в качестве источников биогенных ресурсов плодородия почвы.

Установлено, что освоение биогенной интенсификации позволяет оптимизировать водно-физические свойства, повышает микробиологическую активность почвы, обеспечивает накопление биогенных ресурсов плодородия почвы для бездефицитного баланса гумуса и элементов минерального питания. Биологизация полевых севооборотов лесостепной части Поволжья усиливает их фитосанитарные и экологические функции за счет снижения засоренности посевов и уменьшения распространения болезней растений зерновых культур. Комплексная биологизация земледелия в рамках севооборотов позволяет повысить урожайность, качество зерна зерновых культур и общую продуктивность севооборотов.

Результаты исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ.

Внедрение биологизации севооборотов в ООО «Агрофирма Приволжье» Старомайского района Ульяновской области позволило в период с 2008 по 2017 гг. повысить средневзвешенное содержание гумуса чернозема выщелоченного супесчаного на 0,21% (с 4,11 до 4,32 %), урожайность зерновых и зернобобовых культур с 1,80 т/га до 2,60 т/га. Условно чистый доход с 1 га в 2016 году составил более 6000 руб., с уровнем рентабельности производства зерновых и зернобобовых культур более 50 %.

Внедрение системы биологизации в технологию возделывания яровой пшеницы в ИП (КФХ) И.И. Хамзин Цильнинского района Ульяновской области с использованием органоминеральной системы удобрения (сидерат + солома + НРК) позволило повысить ее урожайность на 56,5 % (с 2,20 т/га до 3,89 т/га) и рентабельность производства зерна на 31,4 %.

**Методология и методы исследований.** Методология исследований основана на анализе и обобщении известных достижений науки и передовой научно-технической информации на принципах системного подхода к решению изучаемой проблемы. В работе использовались аналитически-обобщающий, экспериментальный (полевые опыты и лабораторные исследования почвенных и растительных образцов), статистический (математический анализ полученных результатов исследований), экономический и энергетический методы исследований.

**Положения, выносимые на защиту:**

- источники обогащения почвы органическим веществом как фактора биологизации;
- продуктивность симбиотической азотфиксации зерновых бобовых культур и многолетних бобовых трав;
- фитосанитарная функция севооборотов при их биологизации;
- продуктивность звеньев с чистыми и занятыми парами по выходу зерна и зерновых единиц, а также по энергетической и экономической эффективности;
- качество зерна озимой и яровой пшеницы при биологизации севооборотов лесостепной зоны Поволжья;
- модели поливидовых посевов многолетних трав (люцерна, кострец и эспарцет) для более полной реализации продуктивного потенциала лесостепной зоны Поволжья;
- системы основной обработки почвы в биологизированных севооборотах на черноземе выщелоченном лесостепной зоны Поволжья;

- органоминеральные системы удобрения при биологизации севооборотов, обеспечивающие реализацию продуктивного потенциала с одновременным воспроизводством плодородия чернозема выщелоченного;
- концепция биологизации севооборотов в земледелии лесостепной зоны Поволжья.

**Степень достоверности и апробация работы.** Степень достоверности подтверждается использованием общепринятых методик при выполнении лабораторных и полевых исследований, необходимым количеством применяемых наблюдений, измерений и анализов, проведением математической обработки экспериментальных данных методом дисперсионного и корреляционного анализов с использованием современных компьютерных программ, проверкой защищаемых положений в производственных условиях.

Полученные научные и практические результаты доложены и получили положительную оценку на Всероссийских и Международных научно-практических конференциях: «Современное развитие АПК: региональный опыт, проблемы, перспективы» (Ульяновск, 2005), на II Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования» (Самара, 2005), на Международной научно-практической конференции «Молодежь и наука XXI века» (Ульяновск, 2006), «Современные системы земледелия: опыт, проблемы, перспективы», посвященной 80-летию со дня рождения профессора В.И. Морозова (Ульяновск, 2011), «Проблемы адаптивной интенсификации земледелия в Среднем Поволжье» (Самара, 2012), «Инновационные технологии в агропромышленном комплексе» (Кокшетау, 2012); «Теория и практика актуальных исследований» (Краснодар, 2012), «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения» (Ульяновск, 2013, 2015); «Агроэкологические основы применения удобрений в современном земледелии» (Москва, 2015); «Биологическая интенсификация систем земледелия: опыт и перспективы освоения в современных условиях развития» (Ульяновск, 2016).

**Реализация результатов исследований.** Результаты исследований прошли производственную проверку и внедрены в ООО «Восток» Новомалыклинского района, ООО «Хлебороб» Ульяновского района, ИП (КФХ) И.И. Хамзин Цильнинского района, ИП (КФХ) П.Н. Долгов Цильнинского района, ООО «Агрофирма Приволжье» Старомайского района Ульяновской области на общей площади более 5 тыс. га.

**Публикация результатов исследований.** Автором опубликовано 70 научных работ, в том числе две монографии (в соавторстве), практические рекомендации и учебные пособия. По теме диссертации опубликовано 48 научных работ, в том числе 17 - в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ. Получен 1 патент на изобретение.

**Личный вклад автора:** патентный поиск, анализ литературы, участие в разработке схем и закладка полевых опытов - экспериментов, проведение полевых и лабораторных исследований, анализ и обобщение полученных экспериментальных данных, их математическая обработка, внедрение результатов исследований в сельскохозяйственное производство, подготовка публикаций.

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена на 424 страницах текста компьютерной верстки, состоит из введения, обзора литературы, условий и методики исследований, семи глав, заключения и предложений производству. Содержит 91 таблицу, 35 рисунков и 25 приложений. Список литературы включает 450 источников, в том числе 40 - зарубежных авторов.

## **Глава 1. Биологизация современного земледелия в лесостепной зоне Поволжья**

Проведен анализ отечественной и зарубежной литературы, раскрывающий сущность и пути биологизации и экологизации земледелия в лесостепной зоне Поволжья, которая заключается в использовании всех источников пополнения органического вещества почвы, прежде всего за счет биогенных ресурсов, создаваемых в агроэкосистемах, симбиотического азота бобовых фитоценозов, повышение конкурентоспособности культур по отношению к вредным организмам в севооборотах.

Обзор литературы позволяет сделать вывод, что биогенная интенсификация требует теоретической и экспериментальной проверки в конкретных почвенно-климатических условиях. Необходимо определить параметры биологизации: продуктивность севооборотов, объем органического вещества поступающего в почву, количество биологического азота, схемы севооборотов и их звенья. Следует изучить биологическую продуктивность полевых культур, их экономическую и энергетическую эффективность, разработать наиболее оптимальные системы обработки почвы и удобрения, которые отвечали бы требованиям биологизации и экологизации земледелия, а также принципам энерго- ресурсосбережения.

## **Глава 2. Почвенно-климатические условия лесостепной зоны Поволжья и методика проведения исследований**

Исследования эффективности факторов биологизации севооборотов проводились на базе опытного поля Ульяновского ГАУ в период с 2003 по 2015 гг. При этом два года отмечалась избыточная влагообеспеченность (2004 и 2011 гг.), один год исследований проводился при повышенной влагообеспеченности (2005 г.), четыре года при недостаточной влагообеспеченности (2003, 2006, 2007, 2013 гг.), два года при слабой (2012 и 2014 гг.), 3 года при средней (2008, 2009, 2015 гг.) и один год при сильной засухе (2010 г.).

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднемощный средне-суглинистый. Химический анализ почвы опытных участков, проведенный в различные годы, показал, что по содержанию гумуса она относится к малогумусным – от 4,3 до 4,8%. Реакция среды в пахотном слое почвы слабокислая –  $pH_{\text{сол.}}$  – 5,8-6,0, содержание подвижного фосфора повышенное – 105-150 мг/кг, обменного калия – высокое 137-200 мг/кг почвы. Степень насыщенности основаниями составляет 96,4-97,9 %, сумма поглощенных оснований 25,5-27,8 мг.-экв./100 г почвы.

Для решения поставленных задач нами было проведено два полевых опыта.

### ***Опыт № 1: Биологизация севооборотов и плодородие чернозема выщелоченного в условиях лесостепи Поволжья.***

Стационарный полевой опыт был заложен в 1975 году в соответствии с программами Координационного совета по севооборотам ВАСХНИЛ–РАСХН. Впоследствии состав полевых культур, их чередование и соотношение в площади посева изменились за счет включения многолетних трав кострца, люцерны и эспарцета и с 2001 г. началась ротация севооборотов по уточненным схемам. Первым фактором, изучаемым в полевых опытах, выступали севообороты (Фактор А):

1) **зернопаровой:** чистый пар - озимая пшеница - яровая пшеница - горох - яровая пшеница - яровая пшеница;

2) **зернотравяной с кострцом:** горох - озимая пшеница - яровая пшеница + кострец - кострец - кострец - яровая пшеница;

3) **зернотравяной с люцерной:** вика на семена - озимая пшеница - яровая пшеница + люцерна - люцерна - люцерна - яровая пшеница;

4) **зернотравяной с эспарцетом (сидеральный):** сидеральный пар (вика + овес) - озимая пшеница - яровая пшеница + эспарцет - эспарцет - эспарцет - яровая пшеница.

В качестве контроля выбран зернопаровой севооборот. Севообороты различались по составу культур, чтобы выявить эффективность предшественников в формировании урожая и воспроизводстве почвенного плодородия в севооборотах.

Соотношение бобовых и не бобовых посевов по количеству полей в 1-ом севообороте 1:4 (1-е поле занято чистым паром), во 2-ом севообороте 1:5, в 3-ем 3:3, в 4-ом 3:3 (рис. 1).

В экспериментальных севооборотах основная обработка почвы проводилась по двум технологиям (Фактор В): 1. Комбинированная в севообороте 2. Минимальная в севообороте.

В качестве контроля выбрана комбинированная обработка почвы (1 вариант), сочетающая отвальные и безотвальные способы с элементами минимизации. Минимальная обработка (2 вариант) отличается от контрольного по глубине и интенсивности воздействия на почву. В полевом опыте наряду с серийной техникой применялись современные комбинированные почвообрабатывающие агрегаты.

*Обработка почвы (фактор В):*

*под парозанимающие культуры:*

1) Дискование БДМ 3х4П на 10-12 см + рыхление плугами со стойками СиБИМЭ на 20-22 см.

2) Дискование БДМ-3х4П на 10-12 см + культивация КПИР-3,6 на 12-14 см.

*под озимую пшеницу:*

1) двукратное дискование БДМ 3х4П на глубину 8-10 см и 10-12 см. Предпосевная культивация КПИР-3,6 на 6-8 см.

2) двукратное дискование БДМ 3х4П на глубину 8-10 см и 10-12 см. Предпосевная культивация КПИР-3,6 на 6-8 см.

*под яровую пшеницу:*

1) Дискование БДМ 3х4П на 10-12 см + вспашка на 20-22 см.

2) Дискование БДМ 3х4П на 10-12 см + культивация КПИР-3,6 на 12-14 см.

*под горох (1 севооборот, 4 поле):*

1) Дискование БДМ 3х4П на 10-12 см + рыхление плугами со стойками СиБИМЭ на 20-22 см.

2) Дискование БДМ 3х4П на 10-12 см + культивация КПИР-3,6 на 12-14 см.

*под многолетние травы (2, 3 и 4 севооборота, кострец, люцерна, эспарцет, травосмесь):*

1) Уход за посевами многолетних трав, весеннее боронование БЗСС-1,0

2) Уход за посевами многолетних трав, весеннее боронование БЗСС-1,0

*под яровую пшеницу (1 севооборот, 5 поле):*

1) Дискование БДМ 3х4П на 10-12 см + рыхление плугами со стойками СиБИМЭ на 20-22 см.

2) Дискование БДМ 3х4П на 10-12 см + культивация КПИР-3,6 на 12-14 см.  
под яровую пшеницу (1 севооборот, 6 поле):

1) Дискование БДМ 3х4П на 10-12 см + рыхление плугами со стойками Си-БИМЭ на 20-22 см.

2) Дискование БДМ 3х4П на 10-12 см + культивация КПИР-3,6 на 12-14 см.  
под яровую пшеницу (2, 3, 4 севообороты, 6 поле):

1) Дискование БДМ 3х4П на 10-12 см + вспашка на 25-27 см.

2) Дискование БДМ 3х4П на 10-12 см + вспашка на 20-22 см.

В экспериментальных севооборотах применялись два фона органоминеральных систем удобрения - фактор С - в расчете на 1 га севооборотной площади д.в. (таблица 1).

Навоз вносили после уборки парозанимающих культур, солому – после ее измельчения при обмолоте зерновых и зернобобовых культур и гороха. Удобрения рассчитывались балансовым методом на запланированный урожай гороха – 2,5 т/га зерна; вики – 1,5 т/га зерна; озимой пшеницы – 3,0-3,5 т/га зерна; яровой пшеницы – 2,5-3,0 т/га; викоовсяной смеси на сидерат – 20,0 т/га зеленой массы; кострца, люцерны, эспарцета – 25,0 т/га зеленой массы.

Таблица 1 - Фоны удобрения в экспериментальных севооборотах  
(в период 2002-2008 гг. - первая ротация севооборотов)

Севооборот	1 фон	2 фон
I	навоз 6,6 т/га + N <sub>26</sub> P <sub>17</sub> K <sub>17</sub>	солома 2,5 т/га + N <sub>24</sub> P <sub>17</sub> K <sub>17</sub>
II	навоз 6,6 т/га + N <sub>25</sub> P <sub>13</sub> K <sub>13</sub>	солома 1,3 т/га + N <sub>30</sub> P <sub>13</sub> K <sub>13</sub>
III	навоз 6,6 т/га + N <sub>14</sub> P <sub>13</sub> K <sub>13</sub>	солома 1,3 т/га + N <sub>16</sub> P <sub>13</sub> K <sub>13</sub>
IV	сидер. 3,3 т/га + N <sub>17</sub> P <sub>13</sub> K <sub>13</sub>	сидер. 3,3 т/га + сол. 1,1 т/га + N <sub>14</sub> P <sub>13</sub> K <sub>13</sub>

В 2009 году в схему опыта были внесены изменения, и каждый севооборот был размещен на двух фонах органоминеральных удобрений с соломой (таблица 2).

Таблица 2 - Система удобрений в экспериментальных севооборотах  
(в период 2009-2015 гг.- вторая ротация севооборотов)

Севооборот	1 фон солома + NPK		2 фон солома + NPK	
	Планируемая продуктивность, тыс. з.ед. /к.ед на 1 га	Дозы минеральных удобрений	Планируемая продуктивность, тыс. з.ед. /к.ед на 1 га	Дозы минеральных удобрений
Зернопаровой	2,67/3,06	N <sub>22</sub> P <sub>23</sub> K <sub>23</sub>	3,25/3,98	N <sub>43</sub> P <sub>35</sub> K <sub>35</sub>
Зернотравяной с кострцом	2,90/4,11	N <sub>27</sub> P <sub>27</sub> K <sub>27</sub>	3,48/5,16	N <sub>53</sub> P <sub>33</sub> K <sub>33</sub>
Зернотравяной с люцерной	3,10/3,86	N <sub>20</sub> P <sub>25</sub> K <sub>25</sub>	3,88/4,86	N <sub>40</sub> P <sub>38</sub> K <sub>38</sub>
Зернотравяной с травосмесью	3,00/4,03	N <sub>20</sub> P <sub>25</sub> K <sub>25</sub>	3,78/5,06	N <sub>40</sub> P <sub>38</sub> K <sub>38</sub>

С 2012 года в схемы севооборотов были внесены следующие изменения: вика заменена на посевы люпина белого, сидеральный пар – на двухкомпонтный агроценоз гороха с люпином узколистным (на зерно), эспарцет – на смесь люцерны и кострца.

Сорта сельскохозяйственных культур: горох посевной - Таловец 70, Ульяновец, вика посевная - Льговская 31/292, овес посевной - Скакун, яровая пшеница - Землячка, Симбирцит, люцерна - Казанская 58, кострец – Ульяновский 1, эспарцет - Песчаный 1251, люпин белый – Гамма, люпин узколистный – Надежда.

№ поля	А <sub>1</sub>		А <sub>2</sub>		А <sub>3</sub>		А <sub>4</sub>		В
	С <sub>1</sub>	С <sub>2</sub>	С <sub>1</sub>	С <sub>2</sub>	С <sub>1</sub>	С <sub>2</sub>	С <sub>3</sub>	С <sub>4</sub>	
1	Пар чистый	Пар чистый	Горох	Горох	Вика	Вика	Пар сидер.	Пар сидер.	В <sub>1</sub>
									В <sub>2</sub>
2	Озимая пшеница	Озимая пшеница	Озимая пшеница	Озимая пшеница	Озимая пшеница	Озимая пшеница	Озимая пшеница	Озимая пшеница	В <sub>1</sub>
									В <sub>2</sub>
3	Яровая пшеница	Яровая пшеница	Яровая пшеница	Яровая пшеница	Яровая пшеница	Яровая пшеница	Яровая пшеница	Яровая пшеница	В <sub>1</sub>
									В <sub>2</sub>
4	Горох	Горох	Кострец 1-го г.п.	Кострец 1-го г.п.	Люцерна 1-го г.п.	Люцерна 1-го г.п.	Эспарцет 1-го г.п.	Эспарцет 1-го г.п.	В <sub>1</sub>
									В <sub>2</sub>
5	Яровая пшеница	Яровая пшеница	Кострец 2-го г.п.	Кострец 2-го г.п.	Люцерна 2-го г.п.	Люцерна 2-го г.п.	Эспарцет 2-го г.п.	Эспарцет 2-го г.п.	В <sub>1</sub>
									В <sub>2</sub>
6	Яровая пшеница	Яровая пшеница	Яровая пшеница	Яровая пшеница	Яровая пшеница	Яровая пшеница	Яровая пшеница	Яровая пшеница	В <sub>1</sub>
									В <sub>2</sub>

#### ФАКТОРЫ

А – севообороты: А<sub>1</sub> – зернопаровой; А<sub>2</sub> – зернотравяной с кострцом; А<sub>3</sub> – зернотравяной с люцерной; А<sub>4</sub> – зернотравяной с эспарцетом.

В – основная обработка почвы: В<sub>1</sub> – комбинированная; В<sub>2</sub> – минимальная.

С – система удобрения: С<sub>1</sub> – навоз + NPK; С<sub>2</sub> – солома + NPK; С<sub>3</sub> – сидерат + NPK; С<sub>4</sub> – сидерат + солома + NPK.

Рисунок 1 – Схема стационарного полевого опыта в период 2002-2008 гг.  
(первая ротация севооборотов)

Норма высева всхожих семян для озимой пшеницы – 5 млн./га, яровой пшеницы – 5,5 млн./га, гороха - 1,4 млн./га, вики 2,5 млн./га., в совместном посеве вики с овсом норма высева составляла из расчета 50 % от полной числовой нормы каждого компонента в чистом виде (вика – 1,3 млн. шт. семян, овса 2,3 млн. шт. семян на 1 га), многолетних трав – 5 млн./ га, люпина белого 1,2 млн. шт., смесь гороха и люпина узколистного - 0,7 + 0,7 млн. шт.

Размер делянок первого порядка 14х40 м, второго – 7х40 м, третьего – 7х20 м соответственно 560, 280 и 140 м<sup>2</sup> посевной площади. Размещение делянок систематическое, методом смешивания, повторность трехкратная, севообороты развернуты в пространстве и во времени.

Уровни биологизации экспериментальных севооборотов определялись:

1. Долей бобовых культур (горох, вика, люпин, люцерна, эспарцет).
2. Органоминеральными системами удобрения: навоз + NPK, солома + NPK, сидерат + NPK, сидерат + солома + NPK.

3. Вкладом полевых культур и систем удобрения в накопление массы пожнивно-корневых остатков и влиянием на режим органического вещества почвы.

4. Вкладом бобовых фитоценозов в накопление биологического азота.

5. Использованием поливидовых посевов культур, в т.ч. бобово-злаковых смесей для наиболее полной реализации продуктивного потенциала и усиления их средообразующих функций в севооборотах.

Агротехника в опытах – общепринятая для зоны, за исключением изучаемых приемов.

**Опыт № 2: Энергетическая и белковая продуктивность многолетних трав в простых и сложных агрофитоценозах.**

Двукратно в 2004 и 2005 годах был заложен опыт по изучению одновидовых и поливидовых посевов многолетних трав (коострец, люцерна и эспарцет) при различном соотношении норм высева компонентов:

1. Кострец – 100 %
2. Люцерна – 100 %
3. Эспарцет – 100 %
4. Кострец + люцерна (50+50 %)
5. Кострец + эспарцет (50+50 %)
6. Люцерна + эспарцет (50+50 %)
7. Кострец + люцерна + эспарцет (50+25+25 %)
8. Люцерна + эспарцет + коострец (50+25+25 %)
9. Эспарцет + коострец + люцерна (50+25+25 %)

Цель исследований: изучить особенности формирования урожайности и продуктивность многолетних трав (коострец безостый - *Bromus inermis* L., люцерна посевная - *Medicago sativa* L., эспарцет песчаный – *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC) в одновидовых и поливидовых фитоценозах в условиях лесостепи Поволжья.

Предполагалось изучить урожайность и энергобелковую продуктивность простых и поливидовых фитоценозов, вклад укосов в общий урожай и сроки наступления укосной спелости чистых, бинарных и тройных смесей культур.

Повторность опыта четырехкратная, расположение делянок систематическое со смещением. Площадь делянок - 36 м<sup>2</sup>, учетная - 30 м<sup>2</sup>.

Агротехника в опытах общепринятая для зоны, за исключением изучаемых приемов. Планируемая урожайность культур – 25,0 т/га зеленой массы. Под одновидовой посев костреца вносили N<sub>43</sub>P<sub>20</sub>K<sub>20</sub>, под остальные варианты P<sub>20</sub>K<sub>20</sub>. Норма высева многолетних трав для одновидовых посевов при 100% посевной годности: люцерна посевная – 5 млн. шт. семян на 1 га; коострец безостый – 5 млн. шт. семян на 1 га; эспарцет песчаный – 5 млн. шт. семян на 1 га. В травосмесях норма высева составлялась из расчета 50% и 25% от полной числовой нормы каждого компонента в чистом виде.

В опытах проводились следующие учёты и наблюдения: плотность почвы – методом цилиндров по С.И. Долгову, ГОСТ 27593-88; структурно-агрегатный состав почвы – способом сухого просеивания по методу Н.И. Саввинова (Вадюнина А.Ф., 1986); влажность почвы – термостатно-весовым методом, ГОСТ 282687-89. Активность каталазы определяли по методу Джонсона и Темпле, пероксидазы и полифенолоксидазы – по методам К.А. Козлова, инвертазы – по методу И.Н. Ромейко и С.М. Малинской, уреазы – по методу Т.А. Щербаковой, фосфатазы – по методу А.Ш. Галстяна и Э.А. Арутюнян (Хазиев Ф.Х., 2005), целлюлозо-разлагающую активность почвы – методом льняных полотен (Мишустин, Е.В. и др., 1987). Оценка поражаемости яровой пшеницы корневыми гнилями – согласно методикам ВНИИЗР (Чумаков А.Е., 1976).

Фенологические наблюдения и анализ элементов структуры урожая осуществлялись по методике Госсортсети (1985); продуктивность симбиотической фиксации азота бобовых культур методом сравнения с небобовой культурой (Посыпанов Г.С., 1991); учёт урожая – методом сплошной уборки учётной площади делянки комбайном «Террион - 2010»; определение содержания азота и сырого протеина в зерне – титрометрическим методом по Кьельдалю, ГОСТ 13496.4-93.

Экономическая оценка эффективности возделывания сельскохозяйственных культур проводилась по технологическим картам. Энергетическая оценка проведена в соответствии с методикой ресурсно-экологической оценки эффективности земледелия на биоэнергетической основе (Володин В.М. и др., 1999).

Анализы почвенных и растительных образцов выполнялись в лабораториях ФГБОУ ВО «Ульяновская ГАСХА» и ФГБУ «Станция агрохимической службы «Ульяновская».

Результаты учётов и наблюдений обрабатывались методами дисперсионного, корреляционного анализов и линейного программирования на ЭВМ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Глава 3. Вариабельность абиотических факторов и реакция растений на агротехнические приемы

**Биоклиматические ресурсы и потенциальная урожайность полевых культур.** Важнейшим резервом роста урожайности сельскохозяйственных культур является эффективное использование почвенно-климатических ресурсов, которые выступают наиболее значимым фактором, воздействующим на продукционный процесс растений. Согласно теории фотосинтетической продуктивности, потенциально возможная урожайность современных сортов при полном удовлетворении растений во всех земных факторах жизни позволяет использовать 3-5 % притока солнечной радиации. По среднегоголетним данным, суммарный приход ФАР в условиях Ульяновской области в среднем за период вегетации зерновых культур составляет 106 кДж/см<sup>2</sup>, озимой пшеницы – 113 кДж/см<sup>2</sup>, яровой пшеницы – 106 кДж/см<sup>2</sup>, гороха – 88 кДж/см<sup>2</sup>.

По нашим расчетам, при аккумуляции ФАР 2 % возможная урожайность зерновых культур в условиях Ульяновской области может составить 6,72 т/га, озимой пшеницы – 7,16 т/га, яровой пшеницы – 7,12 т/га, гороха и люпина – 5,52 т/га.

При количестве продуктивной влаги 350 и 400 мм (из всех источников по среднегоголетним данным для условий лесостепной зоны Поволжья) потенци-

альная урожайность зерна озимой пшеницы составит соответственно 4,65 и 5,23 т/га. Действительно возможная урожайность озимой пшеницы ограничивается влагообеспеченностью и тепловыми ресурсами, и в среднем в условиях лесостепи Поволжья составляет 5,18 т/га.

Урожайность яровой пшеницы также ограничивается влагообеспеченностью, однако при количестве продуктивной влаги 300 и 350 мм она может достигать 4,26 и 4,87 т/га. При комплексной оценке взаимодействия тепла и влаги действительно возможная урожайность яровой пшеницы составляет 4,32 т/га.

Зернобобовые культуры (люпин и горох) более требовательны к влагообеспеченности и даже при непродолжительном дефиците влаги клубеньки отмирают из-за недостатка углерода, ассимиляция листьев направляется на рост мелких корней, которые должны обеспечить растения водой, прекращение симбиотической азотфиксации снижает продуктивность. Расчеты показывают, что урожайность зернобобовых культур по ресурсам влаги в условиях лесостепи Поволжья может составить 3,5 – 4,0 т/га зерна, по биогидротермическому потенциалу – 3,7 т/га и биоклиматическому потенциалу – 3,12 т/га.

При ресурсах влаги 300 и 350 мм потенциальная урожайность зеленой массы многолетних трав может составить соответственно 29,0 и 33,5 т/га, возможная урожайность по совокупности факторов (БГП) – 36,5 т/га, а по биоклиматическому потенциалу при использовании 2 % ФАР – 35,8 т/га зеленой массы.

#### **Продолжительность межфазных периодов полевых культур в зависимости от абиотических факторов и агротехнических приемов.**

**Зерновые бобовые культуры.** Водно-тепловой режим посевов - главный регулятор продукционного процесса в агроэкосистемах, поэтому его изучение и управление ресурсами влаги - важная задача в земледелии как эффективная мера преодоления засушливых условий и смягчения их последствий.

Изучение особенностей формирования урожая зернобобовых культур в условиях лесостепи Поволжья позволило нам при сопоставлении длины межфазных периодов с погодными условиями выявить некоторые общие закономерности их изменчивости:

- продолжительность развития растений по фазам в течение вегетации находится в обратной зависимости от среднесуточной температуры воздуха ( $-0,55 < r < -0,99$ ). В большей зависимости от суммы температур оказался люпин по сравнению с горохом и викой;

- сумма осадков увеличивала длительность прохождения фаз роста ( $0,18 < r < 0,99$ ), аналогичная закономерность выявлена и при оценке зависимости длины межфазных периодов и периода вегетации от гидротермического коэффициента ( $0,07 < r < 0,99$ ).

Самый длительный период вегетации отмечен у посевов люпина белого (сорт Гамма) и в среднем составил 106-116 суток, что в значительной степени объясняется биологическими особенностями культуры и погодными условиями, сложившимися в годы исследований. В условиях лесостепи Поволжья все изучаемые зерновые бобовые культуры (горох, вика, люпин) могут использоваться в качестве предшественника озимой пшеницы.

Основная безотвальная обработка почвы на 20-22 см обеспечивала лучшие условия для развития растений зерновых бобовых культур, что отражалось на продолжительности межфазных периодов и вегетации в целом - вегетационный период удли-

нялся на 2-3 суток. При минимальной обработке почвы (на 12-14 см) всходы появлялись на 1 сутки раньше и развивались более быстрыми темпами, что объясняется меньшим содержанием влаги в метровом слое почвы. Применение более высоких доз минеральных удобрений под зерновые бобовые культуры  $N_{20}P_{30}K_{30}$  удлиняло период прохождения фаз развития растений и период вегетации в целом на 1-2 суток.

**Озимая пшеница.** Развитие озимой пшеницы определялось абиотическими факторами в осенний, весенний и летний периоды. Продолжительность ее вегетации изменялась по предшественникам, обработке почвы и удобрениям, которые определяли условия произрастания, что, в конечном счете, сказывалось на продуктивности растений.

Анализ продолжительности межфазных периодов озимой пшеницы позволил установить ее связи с абиотическими факторами. Сроки появления всходов озимой пшеницы после занятых паров в большей степени определялись количеством осадков, что подтверждается более тесной связью продолжительности периода посев-всходы с осадками  $0,38 < r < 0,47$  (средняя), тогда как после чистого и сидерального паров – соответственно  $r=0,01$  и  $r=0,20$  (слабая). Продолжительность периода всходы-кущение также имела прямую зависимость от количества осадков – по чистому и сидеральным парам слабую ( $0,20 < r < 0,28$ ), после занятых – среднюю ( $0,36 < r < 0,44$ ). Между продолжительностью межфазного периода возобновление вегетации - выход в трубку и количеством осадков также выявлена средняя положительная связь, не зависимо от предшественников ( $0,42 < r < 0,56$ ). Периоды выход в трубку-колошение и колошение – полная спелость в большей степени определялись количеством осадков, чем другие периоды при коэффициенте корреляции соответственно  $0,64 < r < 0,77$  и  $0,58 < r < 0,68$ . Аналогичные связи выявлены между продолжительностью межфазных периодов и гидротермическим коэффициентом.

Продолжительность развития растений озимой пшеницы на всех вариантах находилась в обратной зависимости от среднесуточной температуры ( $-0,42 < r < -0,84$ ), наименьшая степень зависимости была отмечена после занятых паров ( $-0,42 < r < -0,68$ ). В целом следует отметить, что погодные условия июня и июля оказывали большое влияние на продолжительность межфазных периодов. Особенно подвергалась влиянию температуры и осадков вторая половина вегетации, что сказалось на формировании, наливе и созревании зерна озимой пшеницы. Высокие температуры и недостаток влаги в почве сокращали, а умеренно теплая и дождливая погода удлиняла созревание зерна.

Учет фенологических фаз развития растений озимой пшеницы показал, что более глубокая комбинированная обработка почвы в севообороте создавала такие условия для растений, при которых продолжительность их вегетации удлинялась на 2 суток, а при повышенных дозах удобрений в среднем по годам и предшественникам на 3 суток.

**Многолетние травы.** Продолжительность периода формирования первого укоса имела прямую связь с количеством выпавших осадков, которые в разной степени удлиняли период вегетации изучаемых культур ( $0,17 < r < 0,46$ ). Корреляционный анализ показал среднюю (кострец) и сильную (люцерна, эспарцет и смесь костреца с люцерной) обратную зависимость продолжительности формирования второго укоса от количества осадков ( $-0,10 < r < -0,83$ ). При отсутствии осадков вто-

рой укос не формировался, а с увеличением их количества укос формировался быстрее - между этими показателями была установлена обратная зависимость. Аналогичные закономерности были выявлены и между продолжительностью формирования укосов изучаемых многолетних трав и гидротермическим коэффициентом.

При повышении среднесуточной температуры, что происходит в засушливые годы, сумма положительных температур за межукосные периоды многолетних трав резко сокращалась, а в прохладные увлажненные годы она увеличивалась. Отсюда установлена обратная связь продолжительности формирования первого укоса многолетних трав со среднесуточной температурой ( $-0,51 < r < -0,69$ ), аналогичная зависимость складывалась и при формировании второго укоса ( $-0,42 < r < -0,80$ ) и связь температуры воздуха с периодом формирования двух укосов ( $-0,54 < r < -0,95$ ).

**Яровая пшеница.** Продолжительность вегетации яровой пшеницы изменялась от 82 (2010 год) до 110 суток (2011 год) при среднем значении 95 суток. Сумма температур варьировала от 1507 до 1897 °С, количество осадков – от 47,7 до 288,1 мм, ГТК = 0,29 до 1,69 ед. Связь между продолжительностью вегетационного периода и среднесуточной температурой воздуха характеризовалась как средняя обратная ( $r = -0,66$ ), а с количеством осадков и с ГТК как сильная прямая при значении коэффициентов соответственно  $r = 0,76$  и  $r = 0,70$ .

#### **Глава 4. Динамика показателей плодородия почвы в зависимости от систем обработки почвы и удобрений при биологизации полевых севооборотов лесостепного Поволжья**

**Агрофизические свойства почвы в севооборотах.** Приемы биологизации севооборотов (внесение навоза, соломы, сидерата) способствовали созданию оптимальной плотности, твердости и высокой оструктуренности чернозема выщелоченного. При комбинированной обработке почвы в севооборотах ее плотность и твердость были оптимальными, но по минимальной обработке отмечалось повышение значений этих показателей, особенно в зернотравяных севооборотах. Система основной обработки почвы оказывала равноценное влияние на ее структурно-агрегатный состав.

Нами выявлена средообразующая функция многолетних трав в фитоценозах – разуплотнение почвы пахотного горизонта. Разуплотняющее действие люцерны и эспарцета, в первую очередь было связано с ее типом, строением, интенсивностью роста и развития корневой системы, а также с количеством пожнивнокорневых остатков. Снижение плотности почвы под многолетними травами началось при биомассе пожнивнокорневых остатков не менее 8 т/га. Выявлена обратная связь между плотностью почвы ( $y$ , г/см<sup>3</sup>) и массой пожнивнокорневых остатков многолетних трав ( $x$ , т/га), что выражается уравнением регрессии:  $y = -0,0128x + 1,4009$  ( $r = -0,82$ ).

Изучение динамики запасов продуктивной влаги в почве и водопотребление культур показало, что в условиях лесостепи Поволжья наибольшее накопление влаги происходит в зернопаровых севооборотах. Однако за две ротации севооборотов установлено, что занятые пары также формируют условия для возделывания последующих культур.

Несмотря на иссушение почвы под многолетними травами, запасы к севу последующей в севообороте яровой пшеницы восстанавливались до хорошего (по комбинированной обработке – 124,4-148,1 мм) и удовлетворительного уровня (минимальная обработка почвы – 99,5-123,5 мм).

От первой ко второй ротации севооборотов отмечалось повышение запасов продуктивной влаги в почве в весенний период, что указывает на улучшение водоудерживающей способности почвы за счет улучшения агрофизических и биологических свойств почвы (содержание органического вещества) под влиянием системы биологизации.

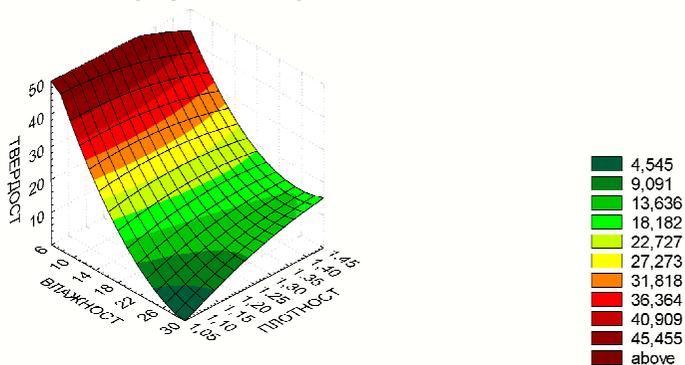
На основании многочисленных данных построены адекватные модели, отражающие изменение величины твердости почвы в зависимости от ее плотности и влажности, что дает возможность использовать их в производственных условиях.

Проведенные исследования показывают высокую степень прямой связи твердости и плотности сложения чернозема, что характеризуется следующим степенным уравнением:  $y = 4,8344x^{6,3401}$  ( $r = 0,79$ ), а также выявлена обратная связь между твердостью почвы и ее влажностью:  $y = 83,879x^{-0,543}$  ( $r = 0,92$ ).

Если объединить модели, отражающие динамику твердости под влиянием влажности почвы и ее плотности, то зависимость усложняется (рис. 2).

Нами выявлены корреляционные зависимости между урожайностью зерновых и зернобобовых культур и твердостью почвы (таблица 3). Анализ показал, что имеется обратная связь между урожайностью зерна изучаемых культур и твердостью почвы, степень зависимости варьировала от средней (озимая пшеница,  $r = -0,35$ ) до сильной (люпин,  $r = -0,93$ ).

Установлено, что степень отрицательного воздействия высокой твердости почвы на урожайность зернобобовых культур, имеющих стержневую корневую систему, была выше, чем у зерновых культур. К тому же следует отметить, что переуплотнение почвы и повышение ее твердости ведет к ухудшению условий формирования симбиотического аппарата, что является неотъемлемым фактором при формировании высокопродуктивных агроценозов.



$$T = 39,973 - 8,043p + 102,163W + 0,078p^2 + 2,793pW - 58,73W^2$$

Рисунок 2 – Зависимость твердости почвы (Т, кг/см<sup>2</sup>) от ее влажности (W, %) и плотности (p, г/см<sup>3</sup>) по результатам исследований двух ротаций севооборотов

Результаты наших исследований показали, что для оптимизации водно-физических параметров в севооборотах целесообразно проводить комбинированную обработку почвы. В зернотравяных севооборотах она должна сочетать вспашку (2 раза за ротацию на 20-22 и 25-27 см), безотвальное рыхление на 20-22 см и поверхностную обработку.

В зернопаровых севооборотах имеется возможность ее минимизировать и проводить вспашку только 1 раз в 6 лет на глубину 20-22 см.

Таблица 3 - Корреляционные и регрессионные связи урожайности зерновых и зернобобовых культур (т/га) с твердостью почвы

Культура	Урожайность, т/га	r	Уравнение регрессии
Озимая пшеница	2,01-6,01	0,35	$y = -0,06x + 5,02$
Горох	1,16-2,92	0,62	$y = -0,04x + 2,88$
Вика	0,59- 2,48	0,85	$y = -0,16x + 4,37$
Люпин	1,68-2,95	0,93	$y = -0,12x + 4,17$
Яровая пшеница	0,65- 4,62	0,53	$y = -0,06x + 3,79$

**Микробиологическая активность почвы.** Приемы биологизации севооборотов, обеспечивающие накопление и поступление в почву свежего органического вещества, приводили к усилению ее микробиологической и ферментативной активности. Результаты наших исследований показали, что после многолетних бобовых трав биологическая активность почвы была выше, чем после яровой пшеницы. Выше была также и интенсивность превращения соединений азота, углеводов фосфорорганического вещества самой почвы. Введение в севооборот многолетних бобовых трав способствовало увеличению поступления в почву органического вещества с более узким соотношением C:N = 19-24:1, благоприятно влияющим на повышение ферментативной активности, в частности каталазы, полифенолоксидазы, инвертазы, уреазы и фосфатазы. Это, в конечном счете, сказывалось на показателях плодородия и продуктивности последующих культур. При этом повышался коэффициент накопления гумуса (отношение полифеноксидазной активности к пероксидазной).

Лошаков В.Г. (2015, 2017) считает, что высокая биологическая активность почвы повышает фитосанитарное и экологическое значение зеленого удобрения и других приемов обогащения дерново-подзолистой почвы органическим веществом, так как органическое вещество увеличивает численность сапрофитной почвенной микрофлоры, которая является активным антагонистом почвенных грибов - возбудителей болезней культурных растений. Это подтверждается результатами наших исследований на черноземе выщелоченном в условиях лесостепной зоны Поволжья.

Нами установлены тесные связи между интенсивностью разложения льняного полотна и ферментативной активностью почвы. Выявлена сильная прямая зависимость между интенсивностью разложения льняного полотна в почве и активностью ферментов каталазы ( $r=0,87$ ), полифенолоксидазы ( $r=0,86$ ) и уреазы ( $r=0,91$ ). Целлюлозоразлагающая и пероксидазная активность имели сильную обратную связь ( $r= -0,94$ ).

**Продуктивность симбиотической азотфиксации бобовых культур.** Биологическая интенсификация земледелия за счет введения в севообороты бобовых культур позволяет накапливать атмосферный азот, что имеет огромное научное-практическое значение. В условиях лесостепи Поволжья зерновые бобовые культуры отличаются высокой симбиотической азотфиксацией: горох – до 70 кг/га, люпин – до 99 кг/га, вика – до 34 кг/га. Наибольшее количество биологического азота накапливалось люцерной (до 352 кг/га), далее эспарцет (до 207 кг/га) и смесь люцерна + кострец (до 130 кг/га). Эти процессы усиливаются при комбинированной обработке почвы и на фоне органоминеральной системы удобрения солома +NPK и сидерат + солома + NPK.

В результате многолетних исследований нами установлена связь между урожайностью бобовых культур и продуктивностью симбиотической азотфиксации, которая характеризуется уравнениями регрессии, представленными в таблице 4.

Таблица 4 - Связь продуктивности фиксации симбиотического азота ( $y$ , кг/га) с урожайностью семян зерновых бобовых культур ( $x$ , т/га) и сухого вещества многолетних трав ( $x_1$ , т/га)

Культура, смесь	Сорта	г	Уравнение регрессии
Горох	Таловец 70	0,88	$y = 38,0 x - 23,6$
	Ульяновец	0,99	$y = 63,6 x - 90,1$
Вика	Льговская 31/292	0,97	$y = 33,4 x - 21,0$
Вика + овес	Льговская 31/292 + Скакун	0,60	$y = 7,43 x + 0,24$
Люпин белый	Гамма	0,94	$y = 55,6 x - 41,3$
Люпин узкол.+ горох	Надежда + Ульяновец	0,94	$y = 53,6 x - 57,9$
Люцерна	Казанская 58	0,91	$y = 45,5 x_1 - 67,8$
Эспарцет	Песчаный 1251	0,70	$y = 40,7 x_1 - 93,9$
Кострец + люцерна	Ульяновский 1+ Казанская 58	0,85	$y = 22,1 x_1 - 77,9$

**Закономерности накопления и объемы биогенных ресурсов плодородия почвы в севооборотах.** Органическое вещество почвы и процессы его трансформации играют важнейшую роль в формировании почвенного покрова и главного его свойства – плодородия, а его запасы рассматриваются с точки зрения экологической устойчивости почв как компонента биосферы.

Наши исследования показали, что масса пожнивно-корневых остатков полевых культур в достаточной степени определялась урожайностью основной продукции, связь характеризовалась как прямая сильная ( $0,78 < r < 0,98$ ). Аналогичная закономерность выявлена между накоплением соломы зерновых и зернобобовых культур и урожайностью основной продукции ( $0,890 < r < 0,989$ ).

В экспериментальных севооборотах по накоплению биогенных ресурсов плодородия почвы система удобрения солома + NPK (от 5,15 до 6,97 т/га) имела преимущество перед системой навоз 40 т/га + NPK (от 3,47 т/га до 5,78 т/га). В зернопаровом севообороте объемы поступления органического вещества по фону с соломой возрастали на 48,4-55,7 %, а в зернотравяных севооборотах – на 16,9-24,9 %. Совместное использование сидерата с соломой в системе органоминерального удобрения повышало объем поступления органического вещества в 1,6 раза (с 4,21 до 6,64 т/га).

В период первой ротации зернопарового севооборота приходящая часть органического вещества почвы формировалась за счет навоза (47 % от общего накопления), пожнивно-корневых остатков озимой пшеницы, гороха и яровой пшеницы (53 %) по

первому фону удобрений и соломы (62 %) и пожнивно-корневых остатков этих культур (33 %) по второму фону удобрений. В зернотравяных севооборотах по первому фону удобрений поступление органического вещества происходило за счет навоза (30-32 %), пожнивно-корневых остатков многолетних трав и зерновых культур (68-70 %), по второму фону за счет соломы озимой и яровой пшеницы, гороха, вики (37-40 %) и пожнивно-корневых остатков этих культур и многолетних трав (56-58 %). В сидеральном севообороте по первому фону в почву поступала масса сидерата (17 %), пожнивно-корневых остатков зерновых и эспарцета (82 %), а по второму фону – сидерата (11 %), соломы зерновых (33 %), и пожнивно-корневых остатков зерновых и эспарцета (51 %).

В период второй ротации закономерности накопления общей биомассы изучаемыми культурами сохранялись. Однако в засушливых условиях 2012, 2013 и 2015 гг. продуктивность зернотравяных севооборотов снизилась, но по массе биогенных ресурсов плодородия почвы все же преобладали зернотравяные севообороты с кострцом (6,09 т/га) и его смеси с люцерной (6,07 т/га). В зернопаровом и зернотравяном севообороте с люцерной в среднем по вариантам накапливалось 5,51 т/га органического вещества.

Структура биогенных ресурсов плодородия была разной. В зернопаровом севообороте преобладала солома – 62 %, а на ПКО приходилось 35 %, в зернотравяных севооборотах складывалась обратная картина – доля ПКО составила 53-57 % и соломы – 40-44 % (рис. 3).

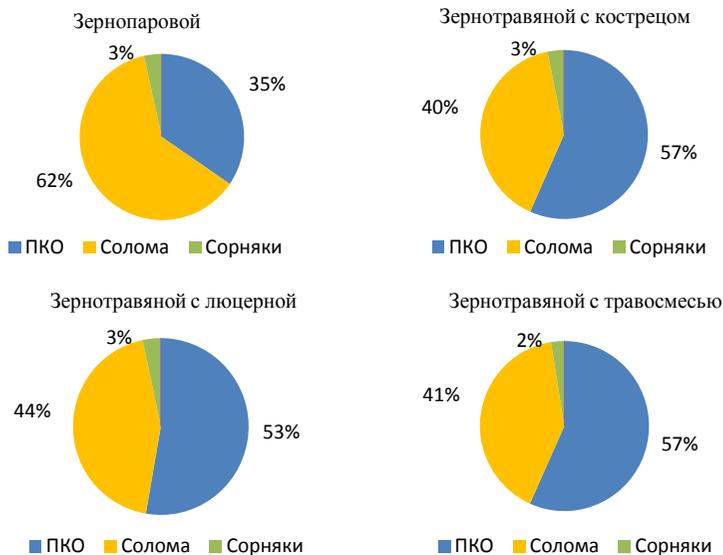


Рисунок 3 - Структура биогенных ресурсов, поступающих в почву в севооборотах за вторую ротацию (2012-2015 гг.)

Основным направлением биологизации является поддержание круговорота вещества и энергии в агроэкосистемах. Необходимо осуществлять регулирование

режима органического вещества за счёт биогенных ресурсов, воспроизводимых в агроэкосистемах, в том числе посредством агрофитоценозов зернобобовых культур.

Экологическая сущность биологизации заключается в регулировании режима органического вещества почвы и поддержании баланса гумуса на бездефицитном уровне. По нашим данным, зернотравяные севообороты (33% многолетних трав) при использовании соломы зерновых культур и сидерального пара обеспечивают накопление объема биогенных ресурсов, достаточного для создания бездефицитного баланса гумуса в почве по сравнению с зернопаровым севооборотом.

**Содержание и накопление биогенных элементов в фитомассе.** В зернопаровом севообороте основная доля углерода поступала с соломой зерновых и зернобобовых культур, а в зернотравяных севооборотах - с пожнивно - корневыми остатками. По соотношению С:N в биомассе изучаемые культуры можно расположить в следующий ряд: люцерна 19-22:1, эспартет 21-24:1, зерновые бобовые культуры – 27-30:1, яровая пшеница 55-60:1, озимая пшеница 64-69:1, коострец 65-99:1. В зернопаровом севообороте наиболее благоприятный баланс биогенных элементов складывался на фоне навоз + NPK, по фону солома + NPK отмечался незначительный дефицит азота и фосфора. В зернотравяном севообороте с люцерной и его смеси с коострецом баланс элементов питания находился на бездефицитном уровне.

## **Глава 5. Формирование урожая и продуктивность полевых культур при биологизации севооборотов**

**Формирование урожая зерновых бобовых культур.** Урожайность зерновых бобовых варьировала в зависимости от культур: горох – 1,86-2,50 т/га, люпин белый – 1,99-2,30 т/га, смесь гороха с люпином узколистым – 2,06-2,40 т/га, вика 1,45-1,72 т/га. Более высокая урожайность двухкомпонентной смеси гороха с люпином объясняется плотностью травостоя, который снижает непродуктивное испарение влаги, повышенной конкурентоспособностью по отношению к сорному компоненту и устойчивостью гороха к полеганию.

Сравнительная оценка урожайности зернобобовых культур в динамике с абиотическими факторами позволяет отметить их взаимосвязь. Урожайность находилась в прямой зависимости от продолжительности вегетации ( $0,49 < r < 0,67$ ), от суммы осадков ( $0,24 < r < 0,74$ ) и величины гидротермического коэффициента ( $0,30 < r < 0,75$ ), особенно люпина белого, что характеризует его как более влаголюбивую культуру в сравнении с горохом и викой. Существуют обратные связи между урожайностью зернобобовых культур и среднесуточной температурой воздуха ( $-0,62 < r < -0,91$ ), суммой температур ( $-0,35 < r < -0,72$ ) и численностью сорных растений ( $-0,43 < r < 0,68$ ).

По белковой продуктивности зернобобовые культуры можно расположить в следующий ряд: вика - 0,241-0,297 т/га > горох - 0,293-0,407 т/га > люпин + горох – 0,380-0,473 т/га > люпин белый - 0,480-0,588 т/га. По выходу к.ед. преимущество имели посевы гороха. Урожайность и продуктивность зерновых бобовых культур возрастали по комбинированной в севообороте обработке почвы и по органоминеральной системе удобрения в севообороте - солома +  $N_{20}P_{30}K_{30}$ .

**Биологизация технологии возделывания озимой пшеницы.** В период первой ротации севооборотов наибольшая урожайность озимой пшеницы была получена по чистому пару – 3,86 т/га, что больше, чем после гороха, на 0,23 т/га,

после вики – на 0,25 т/га и сидерального пара – на 0,49 т/га. Дисперсионный анализ урожайных данных показал, что 66,6 % ее изменений было вызвано действием предшественников, 6,5 % – влиянием органоминеральных удобрений (навоз + NPK, солома + NPK, сидерат +NPK, сидерат + солома +NPK), на обработку почвы приходилось 4,0 %, с взаимодействием факторов было связано 5,6 % и с другими факторами – 17,5 %.

В среднем за 2012–2015 гг. урожайность озимой пшеницы по чистому пару составила 4,22–4,60 т/га, тогда как после парозанимающих культур от 3,26 т/га (после люпина + горох, минимальная обработка почвы, фон солома +  $N_{30}P_{30}K_{30}$ ) до 3,81 т/га (после гороха, комбинированная обработка почвы, фон солома +  $N_{60}P_{45}K_{45}$ ). Дисперсионный анализ показал, что наибольшие изменения урожайности были связаны также с предшественниками – 75,5 %, на долю удобрений приходилось 14,0 %, на обработку почвы – 3,2 % и другие факторы – 7,3 %.

Качество зерна озимой пшеницы по содержанию белка и клейковины мало изменялось по предшественникам, обработке почвы и удобрениям, что можно объяснить высоким уровнем плодородия почвы при систематическом использовании органоминеральной системы удобрения и влиянием биологизированных севооборотов. Отмечено повышение качества зерна озимой пшеницы ко второй ротации севооборотов.

Преимущество чистого пара объясняется более высокой влагообеспеченностью посевов озимой пшеницы в период посева и осеннего развития. Установлена положительная связь ( $r=0,63$ ) между содержанием продуктивной влаги в почве перед посевом озимой пшеницы ( $x$ , мм) и урожайностью зерна озимой пшеницы ( $y$ , т/га). В то же время урожайность озимой пшеницы имела слабую зависимости от ГТК Селянинова за май-июнь ( $0,14 < r < 0,25$ ).

Выявлена обратная средняя зависимость ( $r = -0,48$ ) прибавки урожайности озимой пшеницы по чистому пару (в сравнении с занятым горохом) от количества осадков в период июль-сентябрь. При сумме осадков  $> 150$  мм за указанный период, различия в урожайности озимой пшеницы по чистому и занятому парам минимизируются и не превышают 0,6 т/га (рис. 4).

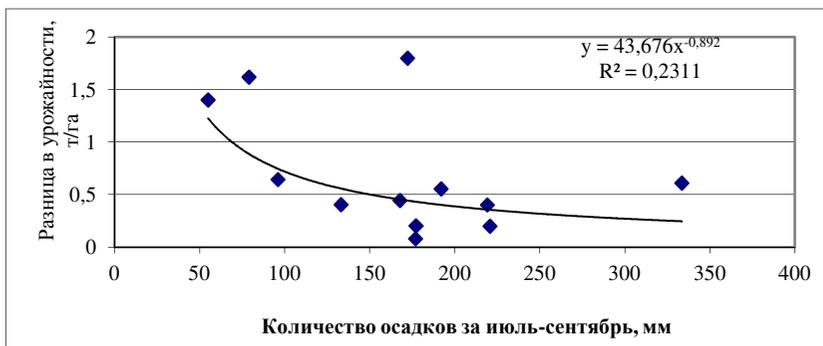


Рисунок 4 - Связь прибавки урожайности озимой пшеницы от чистого пара с количеством осадков в предшествующем году (за 2003–2015 гг.)

Несмотря на более высокую урожайность озимой пшеницы по чистому пару, выход зерна с 1 га парового звена в среднем за 12 лет был ниже, чем в звене с горохом на 1,02 т/га. Продуктивность звеньев с другими бобовыми культурами (люпин, вика, горох + люпин) также была выше, чем в паровом звене.

Нами была разработана экономико-математическая модель, которая позволяет вычислить долю чистого пара в качестве предшественника озимой пшеницы, обеспечивающую получение максимальной денежной выручки от произведенной зерновой продукции в звене севооборота. Искомыми величинами в ней являлись площади посевов озимой пшеницы в звеньях с чистым и занятым парами ( $x_1$ ,  $x_2$ ).

$x_1$  – площадь посева чистый пар - озимая пшеница;

$x_2$  – площадь посева горох - озимая пшеница;

Ограничения задачи были составлены из условий, описывающих структуру полевных площадей зерновых культур, условий, отражающих условия возделывания, а также по расчету технико-экономических показателей. Общий размер задачи составил две переменные и наиболее значимые условия-ограничения (таблица 5).

Таблица 5 - Исходные данные для построения модели по оптимизации звена севооборота (данные за 2003-2015 гг.)

Показатели	Чистый пар - озимая пшеница	Горох - озимая пшеница	Объемы ограничений
Производственные затраты, тыс.руб./ 1 га	15,1	27,5	Не более 25,0
Выход зерна, т/га	2,00	3,02	Не менее 2,5
Выручка от реализации продукции, тыс. руб. с 1 га	23,6	40,8	Целевая функция стремится к max

За целевую функцию был принят показатель - получение выручки от реализации получаемой продукции в звеньях севооборотов, за ограничивающие факторы - производственные затраты и выход зерна в звене севооборота. Цель задачи сводилась к определению такой доли чистого и занятого паров в качестве предшественников для озимой пшеницы, которая обеспечивала бы максимальное значение функции:

$$F(X) = 23,6 x_1 + 40,8 x_2 \rightarrow \max$$

при следующих условиях:

По общей площади пашни:

$$x_1 + x_2 = 1$$

По суммированию производственных затрат:

$$15,1x_1 + 27,5x_2 \leq 25,0$$

По производству зерновой продукции:

$$2,00x_1 + 3,02x_2 \geq 2,5$$

$$4,01x_1 + 3,31x_2 \geq 3,65$$

В результате построения прямой, отвечающей значению функции  $F = 0$ :  $F = 23,6x_1 + 40,8x_2 = 0$  и построения вектора-градиента, составленного из коэффициентов целевой функции, указывается направление максимизации  $F(X)$ .

Прямая  $F(x) = \text{const}$  пересекает область в точке А. Так как точка А получена в результате пересечения прямых (1) и (3), то ее координаты удовлетворяют уравнениям этих прямых (рис.5):

$$x_1 + x_2 = 1$$

$$2,00x_1 + 3,02x_2 \geq 2,6$$

Решив систему уравнений, получены значения:  $x_1 = 0,4$ ,  $x_2 = 0,6$

Откуда найдено максимальное значение целевой функции:

$$F(X) = 23,6 * 0,4 + 40,8 * 0,6 = 33,9$$

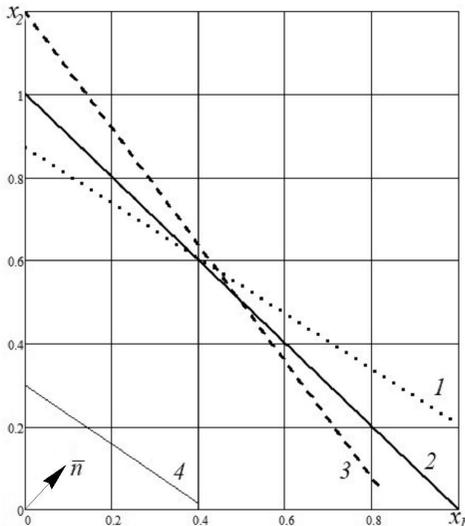


Рисунок 5 – Графическое изображение решения задачи

1- решение уравнения по оптимизации производственных затрат.

2- доля  $x_1$  – чистого пара;  $x_2$ - доля занятого пара горохом.

3- решение уравнения по производству зерновой продукции с единицы площади

Сумма планируемой денежной выручки от реализации зерновой продукции может составить 33,9 тыс. руб. с 1 га.

Построение экономико-математической модели показало, что оптимальное соотношение предшественников для озимой пшеницы в условиях лесостепи Поволжья следующее: чистый пар – 40 % и занятый пар – 60 %, что позволит повысить продуктивность звеньев и получить наибольшую экономическую эффективность. В условиях лесостепи Поволжья рекомендуются зерновые звенья севооборотов: горох – озимая пшеница, вика – озимая пшеница, люпин – озимая пшеница и горох + люпин – озимая пшеница.

**Формирование урожая и качества зерна яровой пшеницы при биологизации севооборотов.** Изучение комплексного действия и взаимодействия предшественников, обработки почвы и удобрений в формировании урожайности и качества зерна яровой пшеницы при биологизации севооборотов является актуальной задачей.

Чистый пар оказывал последствие на урожайность второй культуры (яровой пшеницы) только в засушливые годы, в годы с достаточной увлажненностью по влиянию на урожайность и качество зерна яровой пшеницы преимущество имели бобовые предшественники и сидеральный пар.

В период первой ротации севооборотов (2005-2008 гг.) в паровом звене и при последствии гороха урожайность яровой пшеницы находилась на уровне 2,78 т/га, при последствии вики урожайность составила 2,83 т/га и при последствии сидерального пара – 2,88 т/га.

Дисперсионный анализ показал, что наибольшее влияние на формирование урожайности оказала система основной обработки почвы в севообороте, с которой было связано по годам 72,6-87,4 % изменений, а в среднем - 80,1%. На долю севооборотов (предшественников) приходилось 1,4–7,5 %, а вклад систем удобрений составил всего лишь 0,1-4,8 %.

Оценка обработки почвы по влиянию на формирование урожая яровой пшеницы показала, что комбинированная система в севообороте имела существенное преимущество – на 0,43 т/га по сравнению с минимальной, что можно объяснить лучшей влагообеспеченностью растений перед посевом и меньшей их засоренностью. Органоминеральные системы удобрения с навозом и соломой имели равное влияние на формирование урожайности и качество зерна яровой пшеницы в паровом и зерновых звеньях.

В годы с низкой влагообеспеченностью – вторая ротация (ГТК за май-июнь = 0,46-0,88) прослеживалось положительное последствие чистого пара на урожайность яровой пшеницы, где она составила 2,92 т/га, что больше, чем в звене с горохом на 0,21 т/га, люпином – на 0,13 т/га и смеси люпина и гороха – на 0,19 т/га. Преимущество урожайности яровой пшеницы в паровом звене зафиксировано во все годы второй ротации севооборотов.

Дисперсионный анализ показал, что вклад в формирование урожайности удобрений составил 31,5 %, с обработкой почвы было связано 22,7 %, с предшественниками – 13,9 %, с взаимодействием факторов - 6,4 % и другими факторами - 23,4 %.

Комбинированная обработка почвы в звеньях севооборотов: пар (чистый, занятый) – озимая пшеница – яровая пшеница, подразумевающая проведение под яровую пшеницу дискование на 10-12 см + вспашка на 20-22 см имела преимущество по влиянию на ее урожайность и качество зерна.

В период исследований наиболее качественное зерно было получено в звеньях севооборота с бобовыми культурами и сидератом в сравнении с паровым звеном. Следует отметить, что от первой до второй ротации севооборотов повышались урожайность и качество зерна яровой пшеницы, что указывает на эффективность приемов биологизации.

При использовании многолетних трав в качестве предшественников яровой пшеницы в зависимости от уровня урожайности и качества зерна яровой пшеницы изучаемые предшественники можно разделить на 3 группы: 1) бобовые культуры-симбионты (люцерна, эспарцет, горох), где получена наибольшая урожайность и наиболее качественное зерно; 2) коострец - самая низкая урожайность и менее качественное зерно; 3) яровая пшеница занимает промежуточное положение по уровню урожайности и качеству зерна. Предшественники оказывали неоднозначное влияние на плодородие почвы, ее питательный и водный режимы, физические свойства, что объясняется различиями в химическом составе оставляемых на поле

растительных остатков, количеством симбиотического азота бобовых, поступающего в почву, потреблением продуктивной влаги, а также влиянием на фитосанитарное состояние посевов (засоренность и корневые гнили).

В данном случае преимущество бобовых предшественников объясняется тем, что органическое вещество с узким соотношением C:N при поступлении в почву повышает биологическую активность почвы и выполняет роль катализатора при разложении растительных остатков – носителей патогенной микрофлоры в почве. Последнее обстоятельство также имеет большое фитосанитарное и экологическое значение. Наши исследования показали, что плодосмен способствует снижению распространения и развития корневых гнилей зерновых культур. Наименьшая распространенность корневых гнилей яровой пшеницы отмечалась после бобовых культур в зернотравяных севооборотах – 14,6-26,6 % и при развитии болезни не более 12,0 %. Поражение растений яровой пшеницы при повторных посевах достигало 45 %, при развитии болезни – 14-24 %, также высокое поражение было и после костреца.

В севооборотных звеньях с многолетними травами наибольший вклад в формировании урожайности принадлежит предшественникам - 76,2 %, вклад обработки почвы составил 14,7 %, а фоны органоминеральных систем удобрений имели равноценное влияние на продуктивность яровой пшеницы. В период второй ротации севооборотов (при планировании урожайности на два уровня) возрастал вклад удобрений в формировании урожая яровой пшеницы до 17,5 %, а вклад обработки почвы составил 22,7%, но преимущество оставалось за предшественниками – 68,8 %.

Многолетние бобовые травы отличались наибольшим средообразующим воздействием на почву, что положительно сказывалось на формировании урожая и качестве зерна яровой пшеницы в севооборотах.

Проведенные корреляционный и регрессионный анализы позволили выявить зависимость между урожайностью зерна яровой пшеницы с условиями ее формирования. Анализ показал, что имеется средняя прямая связь между урожайностью и продолжительностью межфазных периодов: кушение – выход в трубку ( $r=0,35$ ), выход в трубку - колосшение ( $r = 0,45$ ) и длиной вегетации ( $r=0,43$ ).

Величина урожайности яровой пшеницы имела среднюю обратную ( $r = -0,34$ ) связь со среднесуточными температурами. Влияние суммы осадков и ГТК на урожайность яровой пшеницы было положительным, а связи характеризовались как прямые средние - по критическим фазам потребления влаги: кушение – выход в трубку; выход в трубку – колосшение ( $0,37 < r < 0,60$ ) и в целом за вегетацию ( $0,42 < r < 0,49$ ). Также установлена прямая средняя положительная связь урожайности яровой пшеницы с запасами продуктивной влаги перед посевом в метровом слое почвы ( $r = 0,53$ ) и обратная средняя связь – с численностью сорных растений перед уборкой ( $r = -0,48$ ).

**Формирование урожая и продуктивность многолетних трав.** Сравнительная продуктивность многолетних трав в период первой ротации севооборотов показала, что наибольшая урожайность была получена при возделывании люцерны - 6,73-8,26 т/га сухого вещества с выходом с 1 га 6050-7144 кормовых единиц, 1031-1334 кг белка и 70,7-85,9 ГДж обменной энергии. В среднем урожайность люцерны была выше урожайности костреца в 1,23 раз, имела преимущество по выходу кормовых единиц в 1,38 раза, переваримого протеина в 2,87 раз и обменной энергии в 1,29 раз. Продуктивность эспарцета по отмеченным показателям

была также выше, чем костреца. На всех вариантах отмечалось преимущество комбинированной системы обработки почвы в севообороте и фона удобрения с применением соломы. Наибольший вклад в изменение урожайности принадлежал многолетним травам – 56,7 %, на долю обработки почвы приходилось 14,8 %, удобрений - 11,5 %.

В период второй ротации по выходу кормовых единиц преимущество имели также посеы люцерны, где по комбинированной обработке почвы было получено 4385–4718 к.ед. и 793–857 кг переваримого протеина соответственно по первому и второму фонам удобрения. По минимальной в севообороте обработке почвы ее продуктивность снижалась до 3995–4301 к.ед., при этом сбор белка составил 675–758 кг. Высокой продуктивностью отличались совместные посеы люцерны с кострцом, которые превосходили одновидовой посев костреца. В среднем вклад культур и их смесей в урожайность составил 68,8 %, обработки почвы - от 5,8 % и удобрений - 17,5 %.

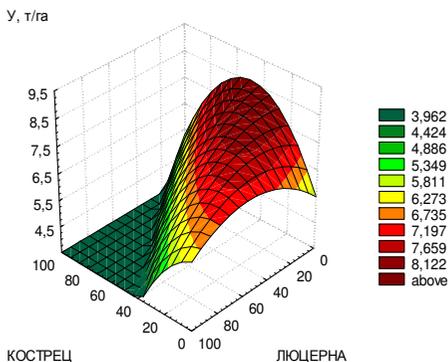
Сравнительная оценка систем основной обработки почвы под изучаемые многолетние травы показала преимущество вспашки на 20–22 см в сравнении с мелким рыхлением почвы на 12–14 см.

Нами установлена прямая связь урожайности сухого вещества многолетних трав с продолжительностью формирования укосов, особенно у эспарцета ( $0,67 < r < 0,81$ ), которая характеризовалась как сильная, средняя у люцерны ( $0,48 < r < 0,46$ ) и смеси люцерны с кострцом ( $0,54 < r < 0,62$ ) и слабая у костреца ( $0,32 < r < 0,27$ ). Выявлена количественная зависимость накопления сухого вещества от среднесуточной температуры воздуха и суммы осадков. Уровень урожайности всех изучаемых культур имел обратную связь со среднесуточной температурой как при формировании первого укоса ( $-0,53 < r < -0,97$ ), так и второго ( $-0,46 < r < -0,77$ ).

Установлена прямая связь между осадками и урожайностью многолетних трав: урожайность первого укоса имела среднюю связь ( $0,44 < r < 0,65$ ), а второго укоса – сильную ( $0,67 < r < 0,80$ ). Аналогичные закономерности выявлены и с гидротермическим коэффициентом. Накопление сухого вещества первого укоса всех многолетних трав прямо и в сильной степени зависело от содержания продуктивной влаги в почве в начале весеннего отрастания ( $0,67 < r < 0,76$ ). Формирование второго укоса в первую очередь определялось количеством осадков и в средней степени зависело от содержания влаги в метровом слое почвы ( $0,42 < r < 0,59$ ). На формирование урожая многолетних трав оказывали влияние сорные растения. Так выявлена связь между накоплением сухого вещества и численностью сорных растений перед укосами ( $-0,48 < r < -0,75$ ).

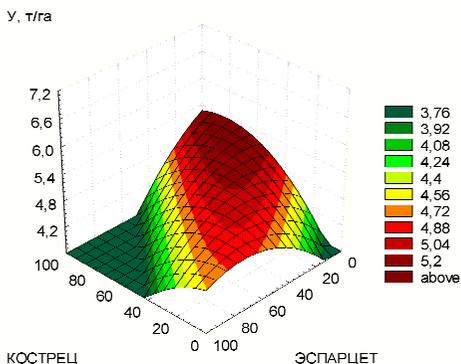
Характер взаимосвязи урожайности сухого вещества и показателей доли компонентов в агрофитоценозах с многолетними травами характеризуют уравнения регрессии, которые являются статистически значимыми. Динамика урожайности многолетних трав в двухкомпонентных смесях в зависимости от доли компонентов представлена на рисунке 6.

Модель сочетания люцерны и костреца (рис. 6 а) в двойной смеси показывает, что ее урожайность повышается с долей компонентов, то есть эти две культуры дополняют друг друга. Построенная 3D модель показывает, что роль люцерны в травосмеси выше, чем костреца, о чем свидетельствуют значения бета - коэффициентов (0,61 – люцерна, 0,53 – кострец):



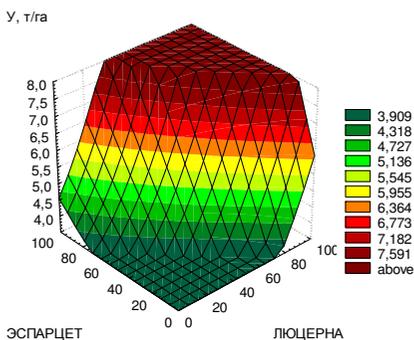
$$Y = -5,487 + 0,126x_1 + 0,053x_2 - 0,001x_1^2 - 0,001x_1x_2 - 0,0005x_2^2, \\ r = 0,98$$

a



$$Y = 3,072 + 0,055x_1 + 0,045x_3 + 0,0003x_1^2 - 0,0006x_1x_3 - 0,0003x_3^2 \\ r = 0,99$$

б



$$Y = 1,795 + 0,041x_2 + 0,013x_3 + 0,0008x_2^2 + 0,001x_2x_3 + 0,0001x_3^2, \\ r = 0,99$$

в

Рисунок 6 – Зависимость сбора сухого вещества травосмесей многолетних трав (Y, т/га) от доли компонентов (x, %) у – урожайность смеси;  $x_1$  – доля кострца в смеси, %;  $x_2$  – доля люцерны в смеси, %;  $x_3$  – доля эспарцета в смеси, %.

Проведенная оценка агрофитоценозов показывает, что наименьшая урожайность была получена при возделывании одновидового посева эспарцета. Урожайность травосмеси эспарцет + костреч увеличилась по сравнению с одновидовым посевом эспарцета. Максимальная урожайность эспарцета в смеси с костречом или люцерной может быть получена при доле эспарцета не более 30 % (рис. 6 б, в).

Для повышения продуктивности многолетних трав, особенно бобовых, следует применять комбинированную обработку почвы на фоне органоминеральной системы удобрения с навозом, сидератом или с соломой, что позволит получать 4-8 т/га сухого вещества сбалансированных по белку кормовых ресурсов.

## **Глава 6. Сравнительная продуктивность севооборотов при биологизации земледелия**

Продуктивность севооборотов определялась, прежде всего, условиями увлажнения вегетационного периода, биологическими особенностями возделываемых культур, системой основной обработки почвы, а также органоминеральными фонами удобрений.

Оценка сравнительной продуктивности по выходу кормовых единиц показала, что изучаемые севообороты можно расположить в следующий ряд: зернотравяной с люцерной – 3,78-4,67 тыс. с 1 га, зернотравяной с костречом - 3,63-3,82 тыс./га, зернотравяной с эспарцетом - 3,73, зернотравяной с травосмесью - 3,71 и зернопаровой севооборот - 2,90-3,17 тыс./га. Различия по выходу кормовых единиц объясняются высокой продуктивностью многолетних трав, которые более эффективно использовали биоклиматический потенциал.

Зерновая продуктивность севооборотов определялась уровнем концентрации посевов зерновых и зернобобовых культур. Наибольший выход зерна отмечен в зернопаровом севообороте с уровнем насыщения 83,0 %, причем ко второй ротации продуктивность севооборота возрастала на 8,9 %, также ко второй ротации отмечен рост продуктивности зернотравяных севооборотов.

Исследования показали сороочищающую роль севооборотов, особенно с многолетними травами, которые обладают высокой конкурентоспособностью по отношению к сорному компоненту агрофитоценозов. Кроме того, многие авторы отмечают, что в процессе роста отдельных культур (люпин), а также при разложении пожнивно-корневых остатков многолетних трав происходит выделение физиологических веществ в почву (аллелопатическое действие), которые оказывают ингибирующее действие на прорастание семян и вегетативные органы размножения сорных растений (Лобков В.Т., 1994; Кружков Н.К., 2007).

Дисперсионный анализ позволил оценить вклад изучаемых факторов в формирование продуктивности пашни. Выявлено, что изменения продуктивности по выходу кормовых единиц были обусловлены влиянием погодных условий (годы), вклад которых составил 35,2 %, с севооборотами (фактор А) было связано 42,3 % вариации продуктивности, при этом отмечено преимущество зернотравяных севооборотов. Доля обработки почвы составила 9,7 % с преимуществом комбинированной системы в севообороте, органоминеральные фоны удобрения обусловили 0,5 % изменений продуктивности пашни, на другие факторы приходилось 11,8 % (рис. 7).

Во всех севооборотах преимущество по влиянию на урожайность зерновых культур, многолетних трав и зернобобовых культур имела комбинированная об-

работка почвы, которая повышала выход к.ед. на 0,20-0,42 тыс. и зерна на 0,10-0,25 т/га. Системы удобрения с навозом и соломой оказывали равноценное влияние на продуктивность зернопарового севооборота. Зернотравяные севообороты по выходу кормовых единиц повышали продуктивность пашни на фоне удобрения солома + NPK по сравнению с фоном навоз + NPK. Последнее объясняется повышением продуктивности бобово-ризобияльного симбиоза при использовании в качестве удобрения соломы, что в свою очередь приводило к росту продуктивности бобовых культур и сказывалось на сборе продукции в севообороте.

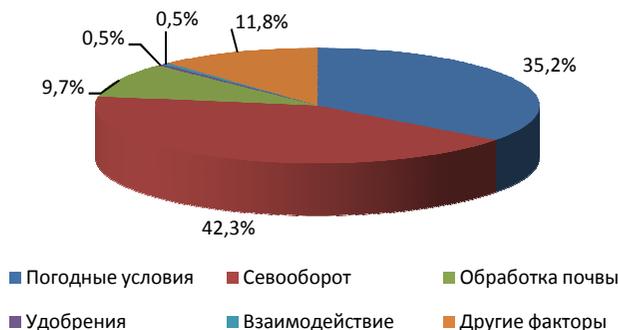


Рисунок 7 – Вклад факторов в формирование продуктивности севооборотов в период первой ротации (кормовые единицы по данным дисперсионного анализа)

Аналогичная картина складывалась и при оценке систем удобрения сидерат + NPK и солома + сидерат + NPK. Второй фон повышал продуктивность зернотравяного севооборота по выходу кормовых единиц.

В период второй ротации севооборотов вышеуказанные закономерности сохранились, отмечено повышение урожайности зерновых культур по сравнению с первой ротацией и выявлено преимущество фона удобрения солома + NPK на планируемую продуктивность 3,06-4,11 тыс. к.ед. Использование повышенных доз удобрений и более полная реализация потенциала продуктивности ограничивались засушливыми условиями весенне-летних периодов. Нами выявлена прямая связь продуктивности севооборотов с гидротермическим коэффициентом за май-июнь по годам ( $0,52 < r < 0,74$ ).

В условиях биологизации севооборотов отмечен рост урожайности зерновых культур и выход зерна с единицы площади от первой ко второй ротации. Рост урожайности и продуктивности зерновых и зернобобовых культур объясняется, прежде всего, улучшением агрофизических, гидрологических и биологических свойств почвы и фитосанитарной обстановки ко второй ротации биологизированных севооборотов.

Дисперсионный анализ данных, полученных в период второй ротации севооборотов, показал, что на 63,5 % изменений продуктивности были обусловлены влиянием погодных условий (годы исследований), с севооборотами было связано

13,2 % изменений урожайности, с обработкой почвы - 4,6 %, а органоминеральные фоны удобрений обусловили 8,3 % изменений продуктивности пашни (рис. 8).

Наши исследования позволили раскрыть сущность и разработать концепцию биологизации земледелия лесостепи Поволжья (рис. 9). Основным направлением биологизации является поддержание круговорота вещества и энергии в агроэкосистемах, при этом особое внимание следует уделять биологическому азоту. Необходимо осуществлять регулирование режима органического вещества за счёт биогенных ресурсов воспроизводимых в агроэкосистемах, в том числе посредством агрофитоценозов зернобобовых культур.

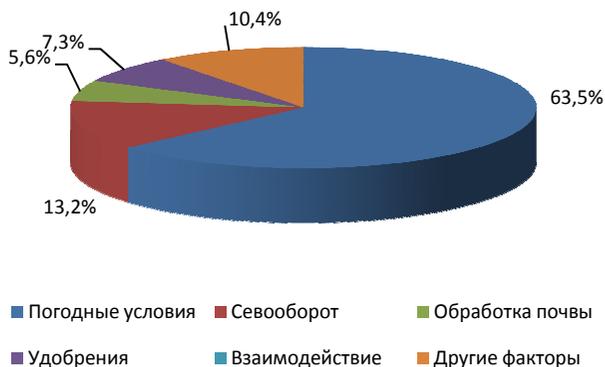


Рисунок 8 – Вклад факторов в формирование продуктивности второй ротации севооборотов (по данным дисперсионного анализа)

Таким образом, севооборот выступает важным системообразующим звеном в концепции биологизации земледелия. Он позволяет диверсифицировать сельскохозяйственное производство, рационально использовать природные и антропогенные факторы формирования урожая в рамках агроэкосистем, планировать системы обработки почвы и удобрения, а также выполняет фитосанитарную и экологическую функции.

## Глава 7. Оценка экономической и энергетической эффективности биологизации севооборотов

При биологизации севооборотов наиболее высокой экономической и энергетической эффективностью отличались многолетние травы, на втором месте - озимая пшеница, на третьем - бобовые культуры и четвертом - яровая пшеница, что обусловлено их продуктивностью и затратами на производство.

Наибольшую экономическую эффективность из зерновых бобовых культур имел люпин, который пользуется спросом при относительно высокой цене реализации (благодаря высокой белковой продуктивности), условно чистый доход при его производстве составил 18,4 – 22,0 тыс. руб. на 1 га.

При возделывании озимой пшеницы в засушливые годы наибольшая ее экономическая эффективность была получена по чистому пару (условно чистый до-

ход до 18,0 руб./га), но при достаточной влагообеспеченности сравнительная экономическая оценка производства зерна после чистого и занятых паров выравнивалась, а на фоне солома + NPK была выше, чем после чистого пара.

Наибольшей экономической и энергетической эффективностью отличались зернотравяные севообороты с бобовыми травами и травосмесью (уровень рентабельности 66,4-101,3%, условно чистый доход 9,6 – 14,3 тыс. руб.), что обусловлено их высокой продуктивностью при минимальных затратах на производство. В зернопаровом севообороте, несмотря на более высокую зерновую продуктивность, условно чистый доход на 1 га снижался до 3,7 – 7,6 тыс. руб./га, а уровень рентабельности до 38,3-45,0%.

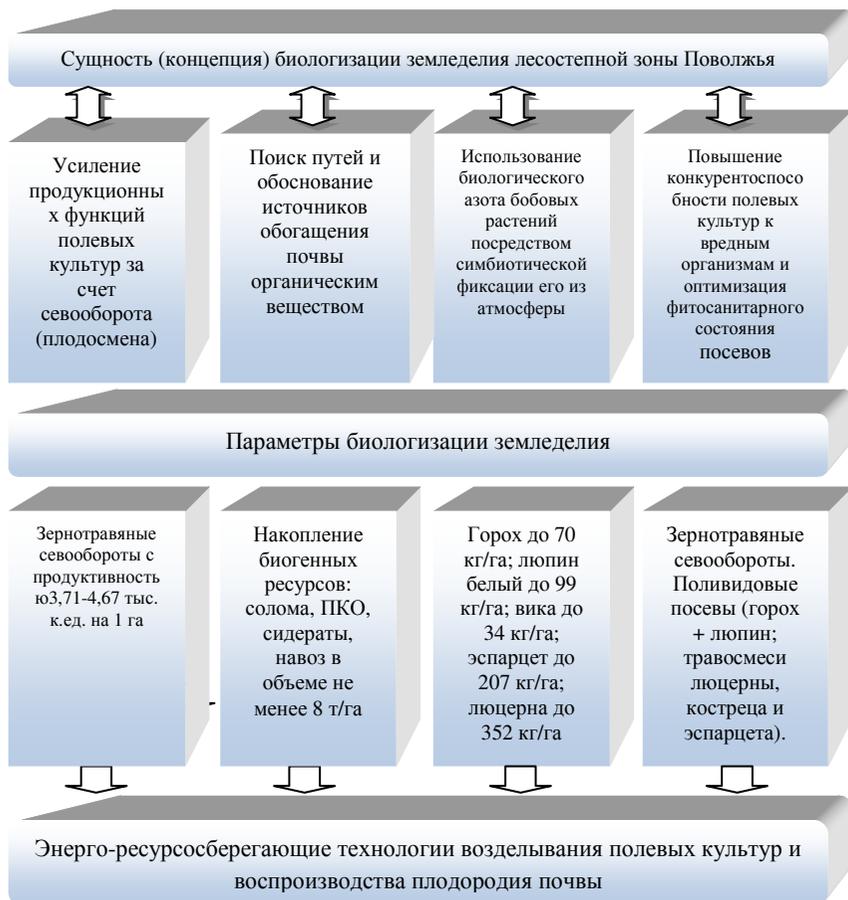


Рисунок 9 – Сущность (концепция) биологизации и экологизации земледелия Лесостепной зоны Поволжья

Комбинированная обработка почвы, благодаря повышению продуктивности полевых культур, особенно бобовых, приводила к повышению экономической эффективности севооборотов. По биоэнергетической эффективности системы обработки почвы были равноценны.

Внесение навоза является затратным приемом компенсации выноса питательных элементов и потерь органического вещества по экономическим и энергетическим критериям. При биологизации севооборотов наиболее эффективно использование соломы с минеральными удобрениями, а также совместное их внесение с сидератом.

В результате комплексной оценки по продуктивности, экономической и энергетической эффективности приемов биологизации земледелия нами разработаны модели звеньев и схемы полевых севооборотов, обладающих высокой продуктивностью, при этом рекомендованы системы основной обработки почвы и органоминеральных удобрений, обеспечивающие воспроизводство плодородия чернозема выщелоченного.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В лесостепной зоне Поволжья отмечается значительная вариабельность погодных условий по годам. Коэффициент вариации годовой суммы осадков за 40 лет составил 23,1 %, а за период вегетации (май-август) – 34,7 %. Оценка динамики температурного режима и количества атмосферных осадков показывает, что погодные условия характеризуются обострением засушливости, что приводит к уязвимости посевов и нестабильности урожая.

Биоклиматический потенциал в условиях лесостепи Поволжья позволяет формировать урожайность культур: гороха, вики и люпина белого на уровне 3,5 т/га высокобелкового зерна, озимой пшеницы - 5,1 т/га, яровой пшеницы - 4,1 т/га зерна, многолетних трав не менее 30 т/га зеленой массы. Потенциальная продуктивность полевых культур ограничивается влагообеспеченностью посевов.

2. Продолжительность вегетационного периода зерновых бобовых и зерновых культур находится в обратной зависимости от среднесуточной температуры воздуха ( $-0,48 < r < -0,97$ ) и в прямой зависимости от количества осадков ( $0,58 < r < 0,89$ ) и гидротермического коэффициента ( $0,54 < r < 0,90$ ). Повышение среднесуточной температуры воздуха ускоряет темпы роста и развития полевых культур, что приводит к сокращению периода вегетации и снижению урожая.

3. Биологизация севооборотов (внесение навоза, соломы, сидерата, многолетние травы) создает условия, при которых складываются оптимальная плотность, твердость и высокая оструктуренность чернозема выщелоченного.

Накопление органического вещества в почве от ротации к ротации полевых севооборотов приводит к увеличению агрономически ценных агрегатов в пахотном слое почв. Многолетние травы выполняют важную фитомелиоративную роль в севооборотах: при биомассе корневой системы не менее 8 т/га сухого вещества отмечалось снижение плотности почвы. Выявлена обратная связь между плотностью почвы ( $y$ , г/см<sup>3</sup>) и массой пожнивно-корневых остатков многолетних трав ( $x$ , т/га), что характеризуется уравнением регрессии:  $y = -0,0128x + 1,4009$  ( $r = -0,82$ ).

4. В условиях лесостепной зоны Поволжья наибольшее накопление продуктивной влаги к севу озимых и яровых зерновых культур происходит в зернопаровом севообороте. В зернотравяных севооборотах многолетние травы, формируя

высокий урожай, иссушают почву, но влагозапасы к севу последующей в севообороте яровой пшеницы восстанавливаются до хорошего – 124-148 мм (по комбинированной обработке) и удовлетворительного уровнем – 100-124 мм (минимальная обработка почвы), что позволяет формировать ее урожай на уровне 1,66-2,72 т/га.

При биологизации земледелия в полевых севооборотах зоны от ротации к ротации повышаются запасы продуктивной влаги в почве в весенний период, что указывает на рост водоудерживающей способности почвы за счет улучшения ее агрофизических и биологических свойств.

5. Модели, разработанные нами на основе результатов многолетних исследований, отражают изменение величины твердости почвы ( $T$ , кг/см<sup>2</sup>) в зависимости от ее плотности ( $\rho$ , г/см<sup>3</sup>) и влажности ( $W$ , %), что дает возможность использовать их в производственных условиях:  $T = 39,973 - 8,043\rho + 102,163W + 0,078\rho^2 + 2,793\rho W - 58,73W^2$ .

Установлено, что для оптимизации водно-физических свойств в биологизированных севооборотах целесообразно проводить комбинированную обработку почвы. В зернотравяных севооборотах она должна сочетать вспашку (2 раза за ротацию 6-польного севооборота на 20-22 и 25-27 см), безотвальное рыхление на 20-22 см и мелкую обработку (на 10-12 и 12-14 см). Выявлена возможность минимизировать систему обработки почвы зернопаровых севооборотах и проводить вспашку 1 раз за 6 лет на глубину 20-22 см.

6. Биологизация земледелия тесно связана с деятельностью микробиоты почвы. Микробиологическая активность чернозема напрямую зависит от фитоценоза и условий, создаваемых в биогеоценозах. Более высокая активность микрофлоры почвы присуща севооборотным звеньям с люцерной, эспарцетом и смесью люцерна + кострец, где поступало наибольшее количество органического вещества с узким соотношением C:N, благоприятно влияющим на повышение ферментативной активности, в частности каталазы, полифенолоксидазы, инвертазы, уреазы и фосфатазы, что, в конечном счете, сказывалось на показателях плодородия и продуктивности последующих культур.

7. Биологизация земледелия предполагает максимальное вовлечение симбиотического азота в круговорот вещества и энергии агрофитоценозов. В условиях лесостепной зоны Поволжья зерновые бобовые культуры отличаются высокой продуктивностью симбиотической азотфиксации: горох – до 70 кг/га, люпин – до 99 кг/га, вика – до 34 кг/га. Наибольшее количество биологического азота накапливалось люцерной (до 352 кг/га), далее эспарцет (до 207 кг/га) и смесь люцерна + кострец (до 130 кг/га). Эффективность биологизации севооборотов за счет бобовых культур усиливается по комбинированной обработке почвы на органоминеральной системе удобрения солома +NPK и сидерат + солома + NPK. Между продуктивностью симбиотической азотфиксации и урожайностью зерновых бобовых культур, а также многолетних бобовых трав существует тесная связь ( $r = 0,60-0,99$ ).

8. Биологизация полевых севооборотов в земледелии лесостепи Поволжья позволяет регулировать режим органического вещества почвы и поддерживать баланс гумуса на бездефицитном уровне. По накоплению органического вещества, поступающего в почву, полевые севообороты можно расположить в следующий ряд: зернотравяной с кострцом 5,40-6,97 т/га, зернотравяной с люцерной 5,15-6,71 т/га, зернотравяной 3,87-6,64 т/га и зернопаровой 3,47-5,73 т/га.

9. В полевых севооборотах лесостепной части Поволжья основная доля углерода в почву поступает с соломой и пожнивно-корневыми остатками. По качественному показателю - соотношению C:N в поступающей в почву биомассе культуры можно выстроить следующий ряд: люцерна 19-22:1, эспарцет 21-24:1, зерновые бобовые культуры – 27-30:1, яровая пшеница 55-60:1, озимая пшеница 64-69:1, кострец 65-99:1. В зернопаровом севообороте наиболее благоприятный баланс биогенных элементов складывался на фоне навоз + NPK. По фону солома + NPK отмечался незначительный дефицит азота и фосфора. В зернотравяном севообороте с люцерной и его смеси с кострцом на фонах навоз + NPK и солома + NPK баланс элементов питания находился на бездефицитном уровне.

10. В условиях лесостепного Поволжья урожайность гороха изменяется в среднем от 1,86 до 2,50 т/га, люпина белого - 1,99-2,30, смеси гороха с люпином узколистным – 2,06-2,40 и вики - 1,45-1,72 т/га с преимуществом фона комбинированной обработки почвы и фона удобрений с соломой. Повышенные дозы удобрений солома +  $N_{20}P_{30}K_{30}$  увеличивали урожайность зерновых бобовых культур в сравнении с фоном солома +  $N_{10}P_{20}K_{20}$ . Более высокая урожайность двухкомпонентной смеси (горох + люпин узколистный), объясняется высокой плотностью травостоя, которая снижала непродуктивное испарение влаги, обладала повышенной конкурентоспособностью по отношению к сорному компоненту, устойчивостью к полеганию.

11. По белковой продуктивности зернобобовые культуры можно расположить в следующей последовательности: вика - 0,241-0,297 т/га > горох - 0,293-0,407 т/га > люпин + горох – 0,380-0,473 т/га > люпин белый - 0,480-0,588 т/га. По выходу к.ед. преимущество имели посевы гороха. Урожайность и продуктивность зерновых бобовых культур возрастала по комбинированной в севообороте обработке почвы и органоминеральной системе удобрения – солома + NPK.

12. Наибольшая урожайность озимой пшеницы формируется после чистого пара, однако по продуктивности преимущество имели звенья севооборотов с бобовыми культурами, где выход зерна возрастал с 2,20 до 2,83-2,91 т/га, а зерновых единиц с 2,20 до 3,25-3,34 тыс. /га. Построенная экономико-математическая модель показала, что оптимальное соотношение предшественников для озимой пшеницы в условиях лесостепи Поволжья следующее: чистый пар 40 % и занятый пар 60 %, что позволит повысить продуктивность звеньев и обеспечить наибольшую экономическую эффективность. В данной зоне имеют перспективу зерновые звенья севооборотов: горох – озимая пшеница, люпин – озимая пшеница и горох + люпин – озимая пшеница.

13. В условиях лесостепной зоны Поволжья чистый пар оказывает положительное влияние на урожайность последующей - второй культуры (яровой пшеницы) только в засушливые годы, тогда как в годы с достаточной увлажненностью преимущество имеют бобовые предшественники и сидеральный пар. Качество зерна яровой пшеницы повышалось в зерновых звеньях с бобовыми культурами и сидератом независимо от влагообеспеченности года. По сравнению с первой ротацией во второй ротации севооборотов повышались урожайность и качество зерна озимой и яровой пшеницы, что указывает на эффективность приемов биологизации технологии возделывания зерновых культур.

14. Органоминеральные системы удобрения с навозом и соломой оказывают равноценное влияние на формирование урожая и качество зерна яровой пшеницы

в паровом и зерновых звеньях. Предшественники яровой пшеницы по влиянию на урожайность и качество зерна можно разделить на три группы: 1) бобовые культуры (люцерна, эспарцет, горох) - получена наибольшая урожайность с наилучшим качеством зерна; 2) кострец - самая низкая урожайность с худшим качеством зерна; 3) яровая пшеница занимает промежуточное положение по уровню урожайности и качеству зерна.

15. При разработке и внедрении приемов биологизации севооборотов эффективны травосмеси многолетних трав, которые по сравнению с их одновидовыми посевами более продуктивны. Построенные модели показывают, что роль люцерны в травосмеси выше, чем других культур, о чем свидетельствуют значения бета – коэффициентов: 0,61 – люцерна, 0,53 – кострец. Максимальная урожайность эспарцета в смеси с кострецом или люцерной может быть получена при его доле не более 30 %. Решающее значение для формирования первого укоса многолетних трав имеет содержание продуктивной влаги в метровом слое и сумма осадков за периоды формирования второго укоса. Наибольшую продуктивность многолетних трав, особенно бобовых, обеспечивает комбинированная обработка почвы на фоне органоминеральной системы удобрения с навозом, сидератом и с соломой, которая позволяет получать 4-8 т/га сухого вещества, сбалансированного по белку.

16. Общая продуктивность биологизированных севооборотов лесостепной зоны Поволжья определяется, прежде всего, условиями увлажнения вегетационного периода, а также биологическими особенностями культур, системой основной обработки почвы и удобрениями. По выходу кормовых единиц севообороты этой зоны можно расположить в следующий ряд: зернотравяной с люцерной – 3,78-4,67 тыс./га, зернотравяной с кострецом - 3,63-3,82, зернотравяной с эспарцетом - 3,73, зернотравяной с травосмесью - 3,71 и зернопаровой севооборот - 2,90-3,17 тыс./га.

16. Наибольший выход зерна отмечен в зернопаровом севообороте с уровнем насыщения зерновыми и зернобобовыми культурами 83,0 % - 2,36 т/га, причем в последующей ротации продуктивность севооборота возростала до 2,57 т/га или на 8,9% по сравнению с первой, что свидетельствует о накопительном эффекте от чередования культур. Это же отмечено и для зернотравяных севооборотах, что объясняется улучшением агрофизических, агрогидрологических и биологических свойств почвы и фитосанитарной обстановки на полях при биологизации севооборотов.

17. Во всех севооборотах преимущество по влиянию на урожайность зерновых культур, многолетних трав и зернобобовых культур имела комбинированная обработка почвы, которая повышала выход к.ед. на 0,20-0,42 тыс., зерна на 0,1-0,25 т/га. Системы удобрения с навозом и соломой оказывали равноценное влияние на продуктивность зернопарового севооборота. Зернотравяные севообороты повышали продуктивность пашни на фоне удобрения солома + NPK по сравнению с фоном навоз + NPK.. Аналогичная картина складывалась и при оценке систем удобрения сидерат + NPK и солома + сидерат + NPK. При этом выявлена прямая связь продуктивности севооборотов с гидротермическим коэффициентом за май-июнь по годам ( $r=0,52-0,74$ ).

18. Наибольшей экономической и энергетической эффективностью отличаются зернотравяные севообороты - уровень рентабельности 66,4-101,3 %, тогда как зернопаровой севооборот имел уровень рентабельности 38,5-45,0 %, Комбиниро-

ванная обработка почвы, благодаря повышению продуктивности полевых культур, приводила к повышению экономической эффективности севооборотов. По биоэнергетической эффективности системы обработки почвы были равноценны. Внесение навоза является затратным приемом компенсации выноса питательных элементов и по экономическим и энергетическим критериям. Наиболее эффективно внесение соломы с минеральными удобрениями, а также совместное их внесение с сидератом.

19. Комплексная оценка продуктивности, экономической и энергетической эффективности приемов биологизации земледелия позволяет разрабатывать и рекомендовать сельскохозяйственному производству лесостепной зоны Поволжья модели полевых севооборотов с системами основной обработки почвы и органоминеральных удобрений, обеспечивающих высокую продуктивность пашни и воспроизводство плодородия чернозема выщелоченного.

### ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

На основании проведенных комплексных исследований системы биологизации земледелия на черноземе выщелоченном лесостепной зоны Поволжья для повышения продуктивности, качества продукции растениеводства и воспроизводства плодородия почвы в современных экономических условиях рекомендуется:

1. Оптимизировать структуру посевных площадей как фактора биологизации земледелия:

- увеличить долю занятых и сидеральных паров не менее, чем до 60 % от площади посева озимых зерновых культур.

- в занятых парах размещать зерновые бобовые культуры - горох, вику, люпин белый, люпин узколистный с горохом в двухкомпонентных агрофитоценозах как источники биологического азота и накопления ресурсов растительного белка;

- довести площадь многолетних бобовых трав и бобово-злаковых агрофитоценозов до 25 % как источников биологического азота, биогенных ресурсов плодородия почвы и кормовых ресурсов для развития животноводства;

- рекомендовать зернотравяные севообороты, обеспечивающие улучшение фитосанитарного и экологического состояния посевов, воспроизводство плодородия почвы и продуктивность пашни на уровне – 3,7-4,6 тыс. к. ед.

2. При биологизации земледелия в качестве источника органического вещества наряду с внесением навоза использовать солому зерновых и зернобобовых культур (до 1,5 млн. тонн по Ульяновской области) и другие биогенные ресурсы, что усилит микробиологическую активность, улучшит режим органического вещества и водно-физические свойства почвы, повысит продуктивность севооборотов.

В полевых севооборотах использовать органоминеральные системы удобрения: солома + NPK и сидерат + солома + NPK. Дозы минеральных удобрений рассчитывать на планируемую урожайность озимой пшеницы 3,5-4,5 т/га, яровой пшеницы – 3,0-3,5 т/га, зернобобовых культур – 2,5-3,0 т/га зерна и продуктивность многолетних трав – 4,0-5,0 тыс. к. ед.

3. Для усиления процессов биологизации земледелия применять возделывание бобовых многолетних трав и зерновых бобовых в сложных фитоценозах (бобово-злаковые или бобовые смеси): люцерна + костреч, люцерна + костреч + эспарцет, люпин узколистный + горох.

4. При биологизации севооборотов рекомендуется комбинированная система основной обработки почвы, сочетающая вспашку на 20-22 см (1-2 раз за ротацию, под бобовые травы и травосмеси), безотвальное рыхление на 20-22 см (под зерновые бобовые культуры и чистый пар) и мелкую обработку на 10-12 см или 12-14 см (под озимые и яровые зерновые культуры).

#### Список работ в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ

1. Тойгильдин, А. Л. Бобовые фитоценозы в биологизации севооборотов и накоплении ресурсов растительного белка / В. И. Морозов, А. Л. Тойгильдин // Кормопроизводство. – 2007. - №1. - С. 9–12.
2. Тойгильдин, А. Л. Бобовые фитоценозы в биологизации севооборотов и накоплении органического вещества в черноземных почвах/ В. И. Морозов, А. Л. Тойгильдин // Земледелие. – 2008. - № 1. - С. 16-17.
3. Тойгильдин, А. Л. Эффективность приемов биологизации севооборотов с озимой пшеницей в лесостепи Поволжья / В. И. Морозов, М. И. Подсевалов, А. Л. Тойгильдин, А. А. Асмус, Н. А. Хайртдинова // Нива Поволжья. – Пенза. – 2008 - № 3 (8). - С. 39-42.
4. Тойгильдин, А. Л. Полевой опыт как метод познания и практического освоения инновационных технологий/ В. И. Морозов, А. Л. Тойгильдин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - № 1 (17). – 2012. - С. 40-44.
5. Тойгильдин, А. Л. Урожайность и белковая продуктивность многолетних трав в севооборотах лесостепи Поволжья / А. Л. Тойгильдин, В. И. Морозов // Кормопроизводство. - 2014. – № 1 – С. 33-37.
6. Тойгильдин, А. Л. Средообразующие функции многолетних фитоценозов в севооборотах лесостепи Поволжья / А. Л. Тойгильдин, В. И. Морозов, М. И. Подсевалов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2014. - № 4. - С.35-43.
7. Тойгильдин, А. Л. Водно-тепловой режим и урожайность многолетних трав в севооборотах лесостепи Поволжья / А. Л. Тойгильдин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2014. -№ 3. - С. 28-34.
8. Тойгильдин, А. Л. Абиотические факторы и устойчивость урожайности озимой пшеницы в условиях лесостепи Поволжья / А. Л. Тойгильдин, В. И. Морозов, М. И. Подсевалов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. - № 1 (29). - С. 29-35.
9. Тойгильдин, А. Л. Модели смешанных посевов многолетних трав для условий лесостепи Поволжья / А. Л. Тойгильдин, О. В. Солнцева, И. А. Тойгильдина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2015. - № 4 (32). - С. 52-57.
10. Тойгильдин, А. Л. Оптимизация подбора предшественников озимой пшеницы в севооборотах лесостепи Поволжья / А. Л. Тойгильдин, М. И. Подсевалов, И. А. Тойгильдина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2016. - № 2 (34). - С. 49-56.
11. Тойгильдин, А. Л. Биологизация технологии возделывания яровой пшеницы и формирование её продуктивности в условиях Среднего Поволжья / В. И. Морозов, А. Л. Тойгильдин, М. И. Подсевалов, В. В. Басенков // Нива Поволжья. - 2016. - № 4 (41). - С. 49-55.
12. Тойгильдин, А. Л. Режим влажности почвы и формирование урожайности озимой пшеницы в севооборотах лесостепи Заволжья / М. И. Подсевалов, А. Л. Тойгильдин, Д. Э. Аюпов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2016. - № 4 (36). - С. 48-54.
13. Тойгильдин, А. Л. Формирование урожайности зерновых бобовых культур в условиях лесостепи Заволжья / А. Л. Тойгильдин, В. И. Морозов, М. И. Подсевалов, Н. А. Хайртдинова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. - 2017. - Т. 2. - № 1. - С. 16-22.
14. Тойгильдин, А. Л. Влияние агроприемов на биологическую активность почвы и урожайность озимой пшеницы в севооборотах лесостепи Заволжья / М. И. Подсевалов, А. Л. Той-

гильдин, Д. Э. Аюпов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2017. - № 1 (37). С. 44-50.

15. Тойгильдин, А. Л. Сравнительная урожайность и продуктивность симбиотической фиксации азота зерновых бобовых культур в севооборотах лесостепи Поволжья / А. Л. Тойгильдин // Нива Поволжья. 2017, ноябрь, №4 (45), с. 144-153

16. Тойгильдин, А. Л. Сравнительная продуктивность звеньев севооборотов с озимой пшеницей при их биологизации в условиях лесостепи Поволжья / А. Л. Тойгильдин // Международных сельскохозяйственных журнал, 2017, №4, с. 53-56

17. Тойгильдин, А. Л. Динамика твердости чернозема выщелоченного под влиянием агротехнических приемов при биологизации севооборотов в лесостепи Поволжья / А. Л. Тойгильдин, М. И. Подсевалов, И. А. Тойгильдина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2017. - № 4 (40). - С. 55-63.

#### **Публикации, входящие в базы данных Scopus и Web of Science**

18. The concept of synergism in the farming systems / A. L. Toigildin, M. I. Podsevalov, A. V. Karpov, I. A. Toigildina, T. D. Grosheva // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. ISSN: 0975-8585. Volume 6, Issue 4, 2015 (July - August), p. 227-229 [http://www.rjpbcs.com/2015\\_6\\_4.html](http://www.rjpbcs.com/2015_6_4.html)

19. Selection of winter wheat predecessors in crop rotations of the Volga region forest steppe / A. L. Toigildin, V. I. Morozov, M. I. Podsevalov, Y. M. Isaev, I. A. Toigildina // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. ISSN: 0975-8585. Volume 6, 2016. T. 7. № 6. С. 2203-2209. [http://www.rjpbcs.com/2016\\_7\\_6.html](http://www.rjpbcs.com/2016_7_6.html)

#### **Публикации в других изданиях**

20. Морозов, В. И. Белковая продуктивность гороха и многолетних трав в зависимости от систем удобрений в севооборотах / В. И. Морозов, А. Л. Тойгильдин, А. Г. Чекашкин // В сборнике: Современное развитие АПК: региональный опыт, проблемы, перспективы Материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Ульяновск, 2005. С. 70-74.

21. Морозов, В. И. Белковая продуктивность гороха и многолетних трав в севооборотах и накопление биогенных ресурсов плодородия чернозема / В. И. Морозов, А. Л. Тойгильдин, Ю. В. Ларин // В сборнике: Современное развитие АПК: региональный опыт, проблемы, перспективы Материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Ульяновск, 2005. С. 65-70.

22. Тойгильдин, А. Л. Накопление пожнивно-корневых остатков многолетними травами второго года жизни в севооборотах лесостепи Поволжья / А. Л. Тойгильдин // В сборнике: Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции. - Ульяновск, 2005. С. 222-224.

23. Тойгильдин, А. Л. Продуктивность симбиотической фиксации азота в посевах люцерны и эспарцета в зависимости от систем удобрений в севооборотах / А. Л. Тойгильдин // В сборнике: Молодежь и наука XXI века. Материалы Международной научно-практической конференции. - Ульяновск: Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия, 2006. С. 108-113.

24. Тойгильдин, А. Л. Энергобелковая продуктивность многолетних трав в простых и сложных фитоценозах / А. Л. Тойгильдин // В сборнике: Молодежь и наука XXI века материалы II Открытой Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. - Ульяновск, 2007. С. 93-97.

25. Тойгильдин, А. Л. Продуктивность и биоэнергетическая эффективность бобовых фитоценозов в биологизации севооборотов / А. Л. Тойгильдин // В сборнике: Актуальные вопросы аграрной науки и образования материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию Ульяновской ГСХА. - Ульяновск. 2008. С. 174-178.

26. Морозов, В. И. Вклад предшественников, обработки почвы и удобрений в формирование продуктивности яровой пшеницы в севооборотах / В. И. Морозов, А. Л. Тойгильдин, Н. В. Тишин // В сборнике: Актуальные вопросы аграрной науки и образования материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию Ульяновской ГСХА. - Ульяновск. 2008. С. 106-110.

27. Морозов, В. И. Урожайность яровой пшеницы и качество зерна при биологизации севооборотов лесостепи Поволжья / В. И. Морозов, А. Л. Тойгильдин, Е. М. Шаронова // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2009. № 1 (18). С. 45-48.

28. Продуктивность паровых звеньев при разных уровнях их биологизации в земледелии лесостепи Поволжья / М. И. Подсевалов, А. Л. Тойгильдин, М. Н. Гаранин, И. Ф. Кабиров // В сборнике: Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения материалы международной научно-практической конференции. - Ульяновск, 2009. С. 97-105.

29. Эффективность почвозащитных севооборотов в системах земледелия лесостепи Поволжья / В. И. Морозов, А. Л. Тойгильдин, М. И. Подсевалов, И. К. Милодорин // В сборнике: Освоение адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. Материалы Всероссийской научно-практической конференции к 100-летию Ульяновского НИИСХ. - Ульяновск, 2010. С. 71-75.

30. Тойгильдин, А. Л. Продуктивность симбиотической фиксации азота бобовых фитоценозов в севооборотах лесостепи Поволжья / А. Л. Тойгильдин, И. К. Милодорин // В сборнике: Молодежь и наука XXI века материалы III-й Международной научно-практической конференции молодых ученых. - Ульяновск, 2010. С. 42-48.

31. Тойгильдин, А. Л. Действие и взаимодействие предшественников, обработки почвы и удобрений в формировании урожайности яровой пшеницы в севооборотах / А. Л. Тойгильдин, В. В. Дмитриенко, Е. Г. Кутлубаева // В сборнике: Материалы Всероссийской школы молодых ученых и специалистов "Перспективные технологии для современного сельскохозяйственного производства". - Ульяновск, 2010. С. 18-21.

32. Продуктивность паровых звеньев севооборотов с озимой пшеницей и плодородие почвы в лесостепи Поволжья / В. И. Морозов, А. Л. Тойгильдин, А. А. Асмус, Н. А. Хайртдинова // В сборнике: Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения Материалы II Международной научно-практической конференции. - Ульяновск, 2010. С. 107-113.

33. Тойгильдин, А. Л. Продуктивность и биоэнергетическая эффективность бобовых фитоценозов при биологизации севооборотов Среднего Поволжья / А. Л. Тойгильдин // В сборнике: Современные системы земледелия: опыт, проблемы, перспективы. - Ульяновск. 2011. С. 287-296.

34. Морозов, В. И. Биологизация севооборотов и регулирование плодородия чернозема выщелоченного лесостепи Поволжья / В. И. Морозов, А. Л. Тойгильдин // В сборнике: Современные системы земледелия: опыт, проблемы, перспективы. - Ульяновск. 2011. С. 176-187.

35. Тойгильдин, А. Л. Биоклиматический потенциал и уровень его использования посевами яровой пшеницы в севооборотах лесостепи Заволжья / А. Л. Тойгильдин, М. И. Подсевалов, И. К. Милодорин // В сборнике: Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения Материалы V Международной научно-практической конференции. - Ульяновск. 2013. С. 84-90.

36. Морозов, В. И. Биологизация и синергетическая эффективность севооборотов в системах земледелия лесостепи Поволжья / В. И. Морозов, А. Л. Тойгильдин // Материалы международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в агропромышленном комплексе». - Кокшетау, 2012. С. 35-40

37. Тойгильдин, А. Л. Продуктивность звеньев и накопление биогенных ресурсов плодородия почвы в биологизированных севооборотах лесостепи Поволжья / А. Л. Тойгильдин, В. И. Морозов, С. В. Шайкин // В сборнике: Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения Материалы VI Международной научно-практической конференции. - Ульяновск. 2015. С. 26-31.

38. Тойгильдин, А. Л. Синергетическая эффективность севооборотов, обработки почвы и удобрений в системах земледелия лесостепи Поволжья / А. Л. Тойгильдин, Д. Э. Аюпов // Материалы 49-й международной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов «Агроэкологические основы применения удобрений в современном земледелии» (25 апреля 2015 г.). - Москва: ВНИИА, 2015. С. 223-226

39. Формирование урожайности многолетних трав в севооборотах лесостепи Поволжья / М. И. Подсевалов, А. Л. Тойгильдин, Д. Э. Аюпов, Е. Л. Тойгильдин, В. Н. Остин // В сборнике: Биологическая интенсификация систем земледелия: опыт и перспективы освоения в современных условиях развития Материалы всероссийской научно-практической конференции. - Ульяновск, 2016. С. 162-172.

40. Продуктивность видов севооборотов при их биологизации в условиях лесостепи Поволжья / А. Л. Тойгильдин, В. И. Морозов, М. И. Подсевалов, С. В. Шайкин, Д. Э. Аюпов // В сборнике: Биологическая интенсификация систем земледелия: опыт и перспективы освоения в современных условиях развития Материалы всероссийской научно-практической конференции. - Ульяновск, 2016. С. 195-204.

41. Биоклиматический потенциал и его использование в агроландшафтных условиях Ульяновской области / А. Л. Тойгильдин, В. И. Морозов, С. В. Басенкова, И. А. Тойгильдина // В сборнике: Аграрный потенциал в системе продовольственного обеспечения: теория и практика Материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Ульяновск, 2016. С. 78-88.

42. Структурное состояние агрофитоценоза и урожайность озимой пшеницы при биологизации её агротехнологий в условиях лесостепи Поволжья / М. И. Подсевалов, В. И. Морозов, А. Л. Тойгильдин, Д. Э. Аюпов, В. Н. Остин / В сборнике: Биологическая интенсификация систем земледелия: опыт и перспективы освоения в современных условиях развития. Материалы всероссийской научно-практической конференции. - Ульяновск, 2016. – С. 151–161.

43. Плотность чернозема выщелоченного и урожайность озимой пшеницы в зависимости от предшественников и обработки почвы в условиях лесостепи Заволжья / Д. Э. Аюпов, М. И. Подсевалов, А. Л. Тойгильдин, В. Н. Остин, И. А. Старогородцев // В сборнике: Материалы международной научной конференции «Молодежь и наука XXI века». – Том 1. - Ульяновск, 2017. – С. 11–18.

#### **Монографии**

44. Тойгильдин, А. Л. Многолетние травы в биологизации севооборотов лесостепи Поволжья: монография. / А. Л. Тойгильдин, В. И. Морозов // Ульяновск: Ульяновская ГСХА, 2015. с.178

45. Хайртдинова, Н. А. Зерновые бобовые агрофитоценозы в севооборотах лесостепи Поволжья: монография /Н. А. Хайртдинова, В. И. Морозов, А. Л. Тойгильдин. – Ульяновск: УЛГАУ, 2017. – 168 с.

#### **Патент на изобретение**

46. Пат. 2634353 Российская Федерация, способ возделывания гороха на зерно/ Тойгильдин А. Л., Подсевалов М. И., Аюпов Д. Э.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА. – заявл. № 2016148349; зарегистр. 08.12.2016; опубл. 26.10.2017, Бюл. № 30.

#### **Учебные пособия, практические рекомендации**

47. Морозов, В. И. Земледелие с основами почвоведения и агрохимии: учебное пособие (рекомендовано учебно-методическим объединением вузов РФ по агрономическому образованию) / В. И. Морозов, А. Л. Тойгильдин // Ульяновск, 2012. - 302 с.

48. Тойгильдин, А. Л. Основы научных исследований в агрономии / Учебное пособие для бакалавров направления подготовки «Агрономия» / А. Л. Тойгильдин, Н. Н. Захарова// Ульяновск, 2015 – 323 с.

49. Адаптивно-ландшафтная система земледелия Ульяновской области / Коллектив авторов. - 2-е изд., доп. и перераб. - Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2017. - 448 с.

Отпечатано в типографии  
Ульяновского ГАУ им. П.А. Столыпина  
Подписано в печать 22.01.2018 Формат 60x841/16  
Бумага офсетная. Печать цифровая.  
Усл.печ.л. 2,0 Заказ 5. Тираж 100 экз.  
432980, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1