

На правах рукописи

Свечников Александр Константинович

**ФОРМИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕВООБОРОТОВ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЛИ МНОГОЛЕТНИХ БОБОВО-ЗЛАКОВЫХ
ТРАВ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Специальность 06.01.01 – общее земледелие, растениеводство

Автореферат
на соискание учёной степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Йошкар-Ола – 2022

Диссертационная работа выполнена в Марийском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – филиале Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» в 2012-2018 гг.

Научный руководитель: **Козлова Людмила Михайловна**
доктор сельскохозяйственных наук

Официальные оппоненты: **Ступаков Алексей Григорьевич**
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», профессор кафедры земледелия, агрохимии, землеустройства, экологии и ландшафтной архитектуры

Казарина Александра Владимировна
кандидат сельскохозяйственных наук, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства имени П.Н. Константинова – филиал ФГБУН "Самарский научный центр Российской академии наук", заведующая лабораторией интродукции, селекции кормовых и масличных культур

Ведущая организация: ОП «Пензенский научно-исследовательский институт сельского хозяйства» – ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь.

Защита состоится «15» сентября 2022 года в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 999.091.03 на базе ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет» по адресу: 446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, дом 2; тел./факс: 8 (846) 634-61-31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аграрный университет», на сайте университета <https://www.ssaa.ru> и ВАК при Минобрнауки РФ <https://vak.minobrnauki.gov.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета

Троц Наталья Михайловна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время в России необходимо производить объёмистых кормов в два раза больше современного уровня. При этом сбор кормов должен возрасти на 80 % за счёт повышения урожайности кормовых культур и существенного увеличения доли бобовых трав (Орсик Л.С. и др., 2007; Шпаков А.С., Воловик В.Т., 2013; Золотарев В.Н., Косолапов В.М., Переправо Н.И., 2017). С учётом климатических изменений в Волго-Вятском регионе, эффективнее всего этого можно достичь видовым обогащением агрофитоценозов, многолетними формами бобовых культур в смеси со злаковыми и внесением удобрений.

Повышение эффективности производства кормов особенно актуально на дерново-подзолистой почве, нуждающейся в снижении очень высокзатратного применения минерального азота, за счёт выращивания бобовых культур (Liu Y. et al., 2011; Bedoussac L. et al., 2015; Kumar S. и др., 2016; Layek J. et al., 2018). Поэтому изучение кормовых агрофитоценозов с различной насыщенностью многолетними бобово-злаковыми травами в изменяющихся климатических условиях представляет определённый научный и практический интерес. Это позволит разработать севообороты с увеличенной продуктивностью, высоким качеством получаемых кормов, а также улучшить агрохимические свойства почвы.

Диссертационная работа проводилась в рамках выполнения темы Госзадания (тема № 0528-2019-0091) в Марийском НИИСХ – филиале ФБГНУ ФАНЦ Северо-Востока.

Степень разработанности темы исследований. Проблема получения качественных кормов и сохранения почвенного плодородия изучалась многими зарубежными и отечественными исследователями. Публикации посвящены влиянию многолетних бобовых и бобово-злаковых травосмесей в качестве предшественников на последующие культуры, различные количественные и качественные показатели севооборотов, сохранение почвенного плодородия в различных агроклиматических и почвенных условиях. В агрофитоценозах с использованием многолетних бобово-злаковых смесей учёными изучался широкий диапазон схем внесения минеральных и органических удобрений.

Существенный вклад в изучение вопроса внесли Прянишников Д.Н., Лошаков В.Г., Фигурин В.А., Косолапов В.М., Новосёлов М.Ю., Шпаков А.С., Эседуллаев С.Т., Никончик П.И., Мудрых Н.М., Bélanger G., Kumar K., Weißhuhn P., Zhou Z., Bybee-Finley K.A., Ashworth A.J., Zeng Z., De Haas B.R. и др. Однако в трудах данных учёных не рассматривался вопрос возделывания многолетних трав без применения минерального азота на фоне внесения фосфоро-калийных удобрений. Для повышения продуктивности многолетних трав требуется совершенствование структуры посевных площадей, создание благоприятных условий для биологической азотофиксации путем оптимизации густоты травостоя, оптимального уровня минерального питания, соответствующего подбора культур с учетом агроклиматических условий. Поэтому изучение этих вопросов является

актуальным и требует проведения исследований в конкретных условиях Республики Марий Эл.

Цель исследований: оптимизировать насыщенность кормовых севооборотов бобово-злаковыми травами на различных фонах минерального питания для повышения продуктивности пашни и качества кормов в условиях Республики Марий Эл.

Задачи исследований:

1. Провести сравнительную оценку поступления пожнивно-корневых остатков и основных агрохимических свойств почвы кормовых севооборотов с различной степенью насыщения многолетними бобово-злаковыми культурами на разных фонах минеральных удобрений;
2. Оценить засорённость культур изучаемых агрофитоценозов;
3. Изучить влияние травянозерновых севооборотов с различной долей многолетних трав на урожайность культур;
4. Установить влияние изучаемых агрофитоценозов на их продуктивность и качество получаемых кормов;
5. Дать оценку энергетической и экономической эффективности изучаемых севооборотов.

Научная новизна. Применительно к почвенно-климатическим условиям Республики Марий Эл установлены основные закономерности формирования продуктивности кормовых агрофитоценозов в зависимости от степени насыщенности севооборота многолетними бобово-злаковыми травами. Показана отзывчивость культур севооборотов на внесение дозы азотных удобрений на фосфорно-калийном фоне.

Теоретическая и практическая значимость исследований. Установлена степень целесообразности применения азотных удобрений в зависимости от насыщенности кормовых агрофитоценозов многолетними бобово-злаковыми травами. С учётом частых засушливых вегетационных периодов в Республике Марий Эл стало возможным подобрать оптимальные по энергетической и экономической эффективности возделываемых культур, продуктивности и качеству получаемых кормов, влиянию на плодородие почвы кормовые севообороты с различной долей многолетних бобово-злаковых трав. Выявлена необходимость введения в однолетние травосмеси Республики засухоустойчивых культур. Насыщение травянозерновых севооборотов многолетними бобово-злаковыми травами на $\frac{1}{6}$ (16,7%), независимо от уровня внесения удобрений, увеличивало КЭЭ на 0,45 до 2,10 (при насыщении 50 %), коэффициент окупаемости – на 0,07 до 1,23, рентабельность – на 6,8 % до 22,5, сбор кормовых единиц – на 0,48 тыс. кормовых единиц/га до 3,17, сухого вещества – на 0,96 т/га до 5,53, сырого протеина – на 180 кг/га до 820, обменной энергии – на 7,5 ГДж/га до 46,2.

В условиях внедрения в сельскохозяйственное производство севооборотного звена озимая рожь – яровой ячмень и исключение применения азотных удобрений в течение двух лет после трёхлетнего использования клеверо-люцерно-тимофеечной травосмеси дало некоторые преимущества по отношению к

двухлетнему использованию такой травосмеси. Технология позволила обеспечить урожайность зерна и соломы в среднем за год соответственно 2,59 т/га и 3,10 т/га, увеличить КЭЭ культур на 0,3, рентабельность – на 5 %, при экономии в среднем за год 220 руб./га на азотных удобрениях.

Методология и методы исследований. Для изучения темы проводился поиск и анализ зарубежных и отечественных научных публикаций. На их основе подтверждена актуальность темы, сформулирована научная гипотеза, определены цели и задачи исследований. В результате проведены лабораторные и полевые научно-исследовательские работы в стационарном опыте. Полученные данные обрабатывались и описывались с использованием методов сравнения средних, корреляционного и регрессионного анализа. Работа выполнялась в рамках общепринятых методик и ГОСТов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Насыщение кормовых агрофитоценозов многолетними бобово-злаковыми травами повышает основные показатели продуктивности, эффективности возделывания культур, качественные характеристики получаемых кормов.

2. По мере увеличения доли многолетних трав в севооборотах при исключении минерального азота на фоне фосфорно-калийных удобрений сохраняются и улучшаются агрохимические показатели почвы, увеличивается энергетическая и экономическая эффективность возделывания культур.

3. В условиях частых летних засух Республики Марий Эл наибольшее преимущество в видовом составе кормовых агрофитоценозов имеют засухоустойчивые культуры, такие как озимая рожь, ячмень яровой, подсолнечник, люцерна изменчивая.

Степень достоверности и апробация результатов работы. Достоверность полученных данных подтверждена статистическими методами (корреляционный и дисперсионный анализ) при использовании методики Б.А. Доспехова (Доспехов, 1985) и ПО «Microsoft Office Excel». Стандартный уровень значимости статистических критериев в работе 5 %.

Результаты исследований были доложены на пяти Международных научно-практических конференциях: «Инновационные технологии в адаптивно-ландшафтном земледелии (Суздаль, 2015)», «Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования (Солёное Займище, 2017)», «Мелиорация почв для устойчивого развития сельского хозяйства (Киров, 2019)», «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. Мосоловские чтения (Йошкар-Ола, 2019, 2020)».

Личный вклад автора состоял в разработке программы исследований, выборе необходимых методов исследования, проведении полевых и лабораторных экспериментов, публикации научных работ, обзоре литературных источников, статистической обработке данных, анализе и обобщении результатов, формулировке выводов и предложений производству.

Публикации по теме диссертации. Результаты исследований отражены в 11 научных статьях, в том числе 6 в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ.

Структура и объём работы. Диссертация изложена на 148 страницах компьютерного текста, содержит 22 таблицы, 36 рисунков и 13 приложений. В структуре диссертации выделено введение, три главы, заключение, предложения производству, список использованной литературы (271 источник, из которых 131 – иностранных авторов).

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю, ведущему научному сотруднику, доктору с.-х. наук Л.М. Козловой за ценные советы и предложения при работе над диссертацией; научному руководителю темы НИР по Госзаданию кандидату с.-х. наук В.М. Измestьеву за координацию научно-исследовательских работ, зав. агрохимической лабораторией Р.Б. Максимовой за помощь в проведении анализов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Место проведения исследований. Экспериментальная работа проводилась на опытном поле Марийского НИИСХ – филиала ФБГНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2013-2018 гг. Анализы почвенных и растительных образцов выполнялись в агрохимической лаборатории института.

Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая. Пахотный слой (0-20 см) перед проведением исследований (осень 2012 г.) имел реакцию среды в пределах от среднекислой до слабокислой – $pH_{\text{сол}}$ 5,0-5,2 ед. (ГОСТ 26483–85). Содержание гумуса по Тюрину низкое (2,23-2,44 %). Содержание общего азота по Кьельдалю низкое (0,23-0,32 %). Поскольку для бобовых требуется относительно большое количество фосфора и калия (Ergon Å. et al., 2018; Irigoyen J.J. et al., 2014; Nesheim L., Boller B.C., 1991) опыт проводился на земельном участке со следующими агрохимическими характеристиками: содержание (по Кирсанову) подвижного фосфора 890-1010 мг/кг, калия 185-200 мг/кг почвы.

Методика проведения исследований. Поставленные задачи решались в двухфакторном стационарном полевом опыте по следующей схеме:

Фактор А – доля многолетних трав в структуре севооборота

– $\frac{1}{6}$ (16,7 %, контроль): смесь из вики (*Vicia sativa* L., сорт Вера) и овса (*Avena sativa* L., сорт Буланный) с подсевом клевера (*Trifolium pratense* L., сорт Мартум), люцерны (*Medicago varia* Mart., сорт Лада) и тимopheевки (*Phleum pratense* L., сорт Вик 85); многолетние травы 1 года пользования (г.п.); озимая рожь (*Secale cereale* L., сорт Татьяна), поукосно горчица белая (*Sinapis alba* L., сорт Бесянка); ячмень яровой (*Hordeum vulgare* L., сорт Владимир); вико-овсяная смесь, поукосно горчица белая; смесь из вики, овса и подсолнечника (*Helianthus annuus* L., сорт Скороспелый 87);

– $\frac{1}{3}$ (33,3 %): вико-овсяная смесь с подсевом клевера, люцерны и тимopheвки; многолетние травы 1 г.п.; многолетние травы 2 г.п.; озимая рожь, поукосно горчица белая; ячмень яровой; вико-овсяная смесь, поукосно горчица белая;

– $\frac{1}{2}$ (50 %): вико-овсяная смесь с подсевом клевера, люцерны и тимopheвки; многолетние травы 1 г.п.; многолетние травы 2 г.п.; многолетние травы 3 г.п.; озимая рожь, поукосно горчица белая; ячмень яровой;

Фактор В – внесение минерального азота на фоне $P_{60}K_{60}$ в дозе N_0 (контроль) и N_{60} .

Фосфорно-калийные удобрения вносили весной в виде двойного суперфосфата и хлористого калия ежегодно, азотные – в виде аммиачной селитры весной перед культивацией или в качестве подкормки озимой ржи. В годы использования многолетних трав подкормки азотными удобрениями не проводились.

Севообороты (третья ротация) развёрнуты во времени и пространстве в четырёхкратной повторности. Делянки площадью 36 м^2 (учётные – 18 м^2) расположены в рендомизированных повторениях.

Все культуры возделывались на зелёную массу, ячмень на зернофураж. Вегетирующие растения не обрабатывались средствами химической и биологической защиты от вредных организмов.

Учёты и наблюдения, а также расчёт энергетической ценности зерна и зелёной массы выполнялись согласно методическим рекомендациям по проведению полевых опытов с кормовыми культурами (Новосёлов и др., 1997). Отбор почвенного пласта (слой 0-20 см) с растительными остатками производили перед вспашкой по методу Н.З. Станкова (Станков, 1964).

Энергетическую оценку эффективности возделываемых культур и севооборотов проводили на основании расчётов энергетических затрат и выхода энергии с урожаем с использованием технологических карт и нормативных данных (Марьин, Алметов, Свирина, 1999). Экономическую эффективность рассчитывали по технологическим картам с учетом применяемой технологии, фактической урожайности и зональных нормативных показателей (Кокурин, Прохорова).

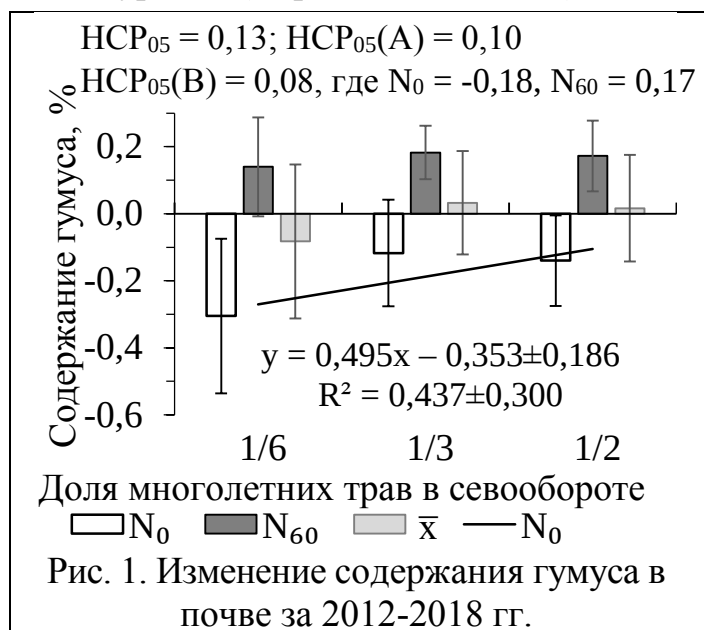
Агрометеорологические условия. Метеорологические условия в годы исследований в период вегетации культур существенно различались: от засушливых и жарких (каждый третий год) до влажных и прохладных. В 2017 г. отмечали избыточную влажность и пониженную температуру. Больше всего угнетались поукосная горчица и многолетние травы (через несколько недель после весеннего отрастания). Самые неудовлетворительные условия для культур сложились в 2016 г., при гидротермическом коэффициенте (ГТК) 0,2.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изменение агрохимических показателей пахотного слоя почвы (0-20 см). В годы исследований pH солевой вытяжки находился в пределах 4,9-5,2 ед. (реакция среды от среднекислой до слабокислой). За период ротации

показатель существенно не изменялся. Подобные значения способствуют ограничению роста и развития большинства видов растений в изученных севооборотах (в порядке убывания): люцерны, клевера, вики, ячменя и подсолнечника.

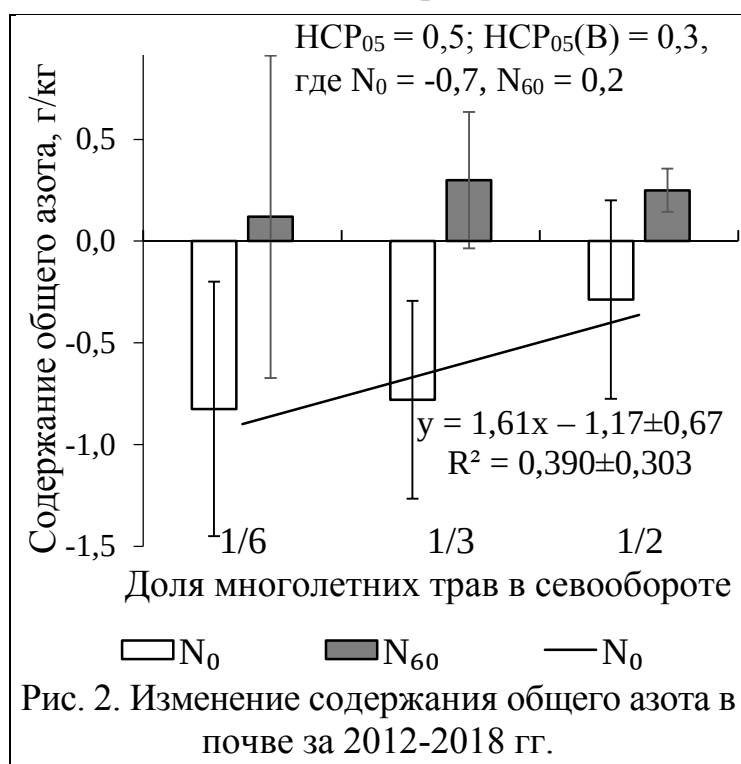
Содержание подвижного калия в течение шести лет также оставалось на одном уровне (в среднем 183 мг/кг), согласно НСР₀₅ эффектов.



На содержание гумуса наибольшее влияние оказал фактор В (рис. 1). При внесении N₀P₆₀K₆₀ потери гумуса составили в среднем 0,18 % (с 2,36 %), и были максимальными в севообороте, на ¹/₆ (16,7 %) насыщенном многолетними бобово-злаковыми травами (НСР₀₅ = 0,13 %). С увеличением доли многолетних бобово-злаковых трав на ¹/₆ потеря гумуса снижалась в среднем с 0,27 % на 0,08 %. При доле многолетних трав ¹/₂ эта потеря достигала 0,11 %. Повышение содержания гумуса на фоне

N₆₀P₆₀K₆₀ было одинаковым во всех агрофитоценозах и составило 0,17 % (с 2,26%). Разница между двумя фонами удобрений к концу исследований составила 0,26 % (НСР₀₅(В) = 0,07 %).

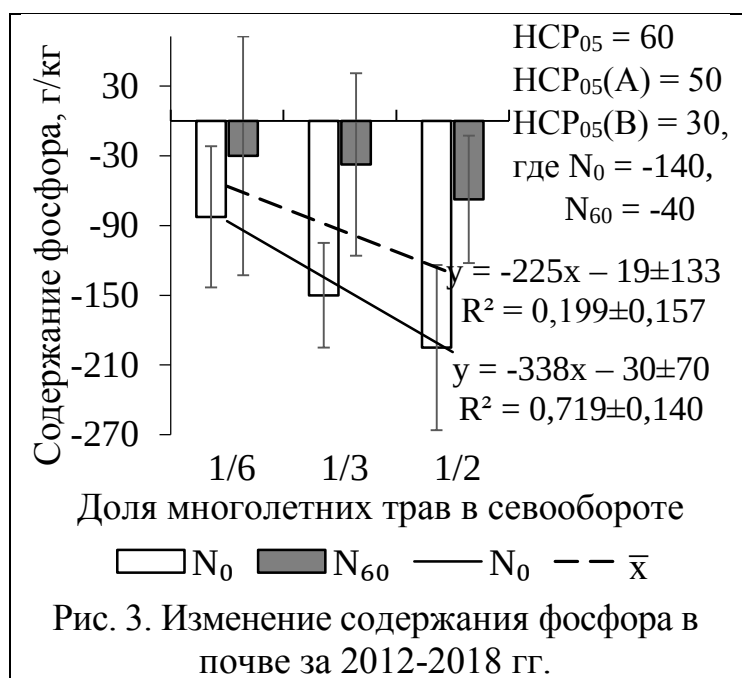
За шесть лет содержание общего азота в почве при схеме внесения



N₆₀P₆₀K₆₀ (в среднем 2,5 г/кг) значительно не повысилось (НСР₀₅ = 0,5 г/кг) (рис. 2). Без внесения азота оно понизилось (НСР₀₅(В) = 0,3 г/кг) с 3,1 г/кг на 0,7 г/кг (22,6 %). На фоне N₀P₆₀K₆₀, с каждым насыщением агрофитоценозов многолетними травами на ¹/₆ сокращение содержания общего азота уменьшалось заметно в среднем с 0,90 г/кг (при доле многолетних трав ¹/₆) на 0,37 г/кг.

В отличие от других агрохимических показателей почвы, содержание подвижного фосфора ни в одном варианте не демонстрировало положительной

динамики (рис.3). На фоне N₆₀P₆₀K₆₀ независимо от вида севооборота содержание



фосфора в слое почвы 0-20 см за ротацию в среднем снизилось ($HCP_{05}(B) = 30$ мг/кг) с 900 мг/кг на 40 мг/кг (4,4 %). Без внесения азота на фоне $P_{60}K_{60}$ содержание элемента в севооборотах сокращалось в высокой степени зависимости (в среднем по шкале Чеддока) от насыщенности их структуры клеверо-люцерно-тимофеечной травосмесью. Согласно выявленной связи на каждый год продления использования многолетних трав в севооборотах без азотных удобрений приходилось увеличение

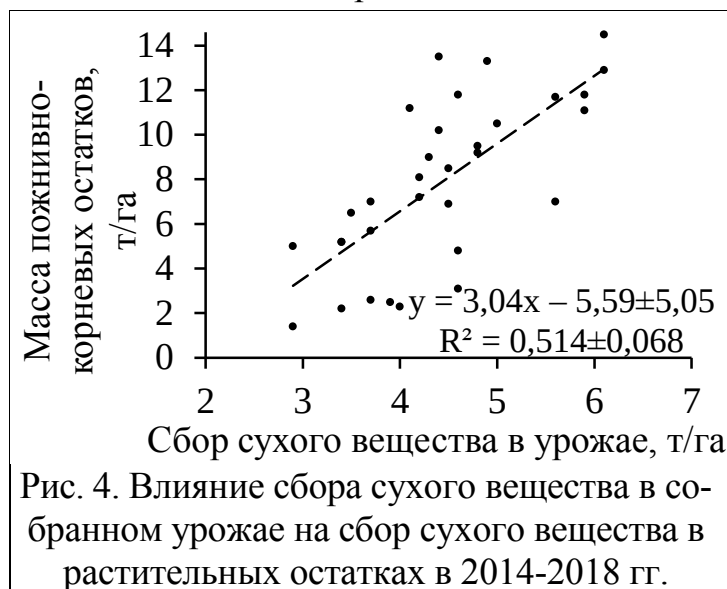
отрицательной динамики содержания подвижного фосфора в среднем с 86 мг/кг на 56 мг/кг, за два года – на 113 мг/кг ($HCP_{05} = 60$ мг/кг).

Накопление пожнивно-корневых остатков. Определение массы пожнивно-корневых остатков в севооборотах показало, что внесение минерального азота на фоне $P_{60}K_{60}$ не оказало достоверного влияния на их формирование и количество элементов питания в них (табл. 1). В первых двух севооборотах за ротацию количество запаханных растительных остатков в слое почвы 0-20 см составило в среднем 49,9 и 40,3 т/га, общего азота в среднем – 798 кг, фосфора – 349 кг, калия – 455 кг. Различия между севооборотами с долей многолетних трав $1/6$ и $1/3$ не превышали 24 % ($HCP_{05}(A) = 16,4-23,1$ %). Третий севооборот с долей многолетних трав $1/2$ (50 %) уступал им по сбору сухого вещества в запаханных корнях и стерне в среднем в 1,9 раз, по количеству азота – в 2,2, фосфора – 1,8, калия – 2,2 раза.

Таблица 1 – Количество элементов питания в биомассе запаханных пожнивно-корневых остатков в зависимости от доли многолетних трав в севообороте ($HCP_{05}(B$ и $AB)$: $H_0:d=0$), сумма за 2014-2018 гг.

Доля многолетних трав	Масса пожнивно-корневых остатков, т/га			Элементы питания, кг/га								
				N			P_2O_5			K_2O		
	N_0	N_{60}	$\bar{x}$	N_0	N_{60}	$\bar{x}$	N_0	N_{60}	$\bar{x}$	N_0	N_{60}	$\bar{x}$
$1/6$	47,7	52,0	49,9	827	816	821	328	314	321	472	521	496
$1/3$	42,0	38,5	40,3	719	831	775	359	394	377	400	426	413
$1/2$	25,3	22,8	24,0	337	374	356	213	203	208	191	177	184
$\bar{x}$	38,3	37,8	38,1	628	674	651	300	304	302	354	374	364
HCP_{05}	11,3 ($H_0:d=0$)			136			74 ($H_0:d=0$)			84		
$HCP_{05}(A)$	8,8			107			58			65		

Установлено, что после вико-овсяно-подсолнечниковой смеси (севооборот с долей многолетних трав $\frac{1}{6}$) в 2018 г. и ячменя в 2017-2018 гг. количество пожнивно-корневых остатков, общего азота и подвижного фосфора в них было наименьшим (2,0-4,5 т/га, 26-60 кг/га, 17-43 кг/га соответственно). В годы поукосного выращивания горчицы после озимой ржи или викоовсяной смеси количество запахиваемых растительных остатков в среднем за год было таким же вы-



соким, как и после многолетних бобово-злаковых трав (9,8 т/га сухого вещества, 115 кг/га азота, 72 кг/га фосфора и 75 кг/га калия).

Между сбором сухого вещества в пожнивно-корневых остатках и уборанном урожае установлена высокая степень взаимосвязи по шкале Чеддока (рис. 4). Растительные остатки в виде стерни и корней в среднем составляли $64,0 \pm 4,4$ % от общей сухой биомассы.

Засорённость кормовых культур

Многолетние травы замещались разнотравьем, в основном из осота розового (*Cirsium arvense* L.), выюнка полевого (*Convolvulus arvensis* L.) и одуванчика обыкновенного (*Taraxacum officinale* L.), однолетние – куриным просом (*Echinochloa crus-galli* L.).

Частые засухи способствовали сильной засорённости клеверо-люцерно-тимофеечного травостоя. Показатель массовой доли сорняков, составляющий 36 ± 6 % в первый год жизни смеси во всех севооборотах, с каждым годом увеличивался на 26 %. Тем временем, доля растений клевера в надземной биомассе снижалась с 15 ± 1 % в 2013 г. в среднем на 5,6 % в каждый последующий год.

Среди одно-двулетних культур наиболее угнетёнными от засорённости были промежуточные посевы горчицы белой со средней массовой долей сорняков 8 %.

Виды с лучшей засухоустойчивостью (подсолнечник, озимая рожь, люцерна и яровой ячмень с массовой долей в посеве соответственно 55 %, 97 %, 20 % и 96 %) в весенне-летний период имели наибольшее преимущество в весе в составе травосмесей и над сорной растительностью. На фоне внесения $P_{60}K_{60}$ без применения азота культурные компоненты несколько быстрее замещались разнотравьем (рис. 5). Существенное влияние аммиачной селитры было только в севообороте с долей многолетних трав $\frac{1}{6}$, где засорённость увеличивалась на $6,6 \pm 6,0$ %.

В результате посевы севооборота с наиболее богатым плодосменом характеризовались наименьшей ($HC P_{05}(A) = 18,5$ %) засорённостью (массовая доля разнотравья 4,0-10,6 %). Дальнейшее насыщение севооборотов многолетними

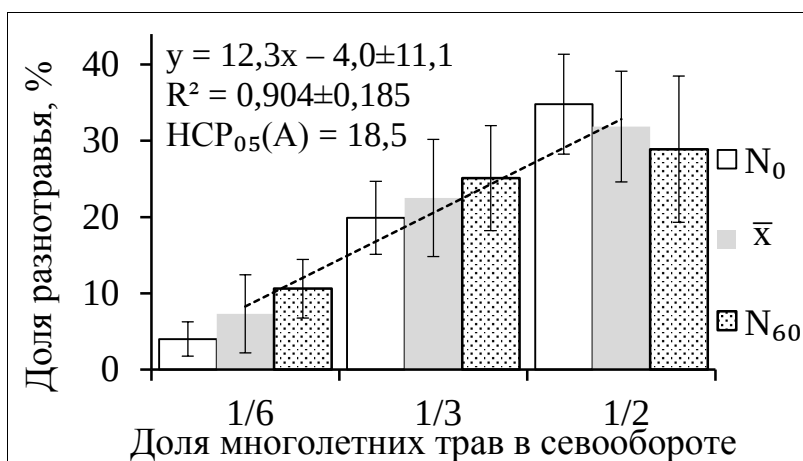


Рис. 5. Массовая доля сорняков в зависимости от вида севооборота и удобрений, 2013-2018 гг.

зерна ячменя (в среднем 3,07 т/га). Следует отметить, что первый укос в агрофитоценозах всегда был урожайнее (в среднем на 53,3 %) второго, в том числе при доле многолетних трав $1/6$ – на 29,6 %, $1/2$ – на 48,8 %, $1/3$ – в два раза.

Внесение азотных удобрений, главным образом, положительно повлияло на урожайность надземной биомассы одно-двулетних культур (на первый укос и общий сбор) и зерна ячменя (в среднем на 20,9 %). Поэтому наибольшее преимущество применения N₆₀ проявилось в севообороте с наименьшей насыщенностью многолетними бобово-злаковыми травами (с долей $1/6$). В данном варианте с первого укоса (12,9 т/га) надземной биомассы было получено больше на 23,6 % (НСР₀₅ = 8,9 %), с суммы двух укосов (22,2 т/га) – на 16,8 % (НСР₀₅ = 5,9 %), чем на фоне P₆₀K₆₀. Урожайность зерна ячменя достигала наибольших значений (3,39-3,92 т/га) при внесении N₆₀ в севооборотах с одно-двухлетним выращиванием клеверо-люцерно-тимофеечной смеси.

Выявлена сильная корреляционная зависимость между урожайностью зелёной массы культур во втором укосе и викоовсяной смеси в первом укосе и влагообеспеченностью по ГТК. Наибольшая связь прослеживалась по покосному

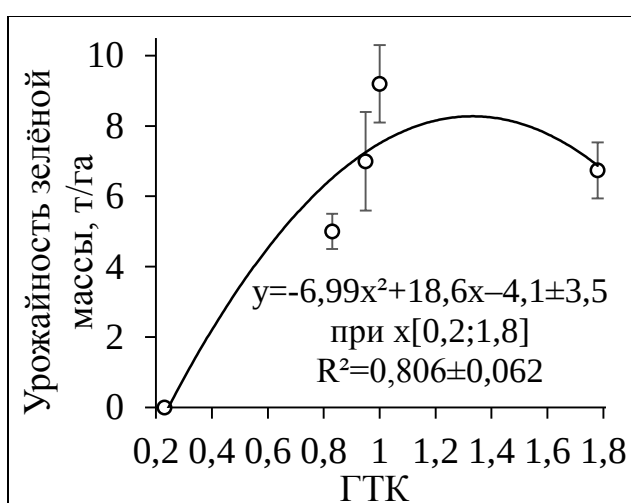


Рис. 6. Влияние ГТК на урожайность зелёной массы горчицы, 2015-2018 гг.

травами сопровождалось значительным повышением засорённости (за каждую $1/6$ долю на $12,3 \pm 1,1$ %).

Урожайность зелёной массы и зерна. Продление использования многолетних бобово-злаковых травосмесей в травянозерновых севооборотах с одного года до трёх не вело к повышению урожайности зелёной массы (в среднем за год 18,5 т/га) и

посеву горчицы (рис. 6).

Оптимальный ГТК в зависимости от культуры находился в пределах 0,8-2,3.

Виды с лучшей засухоустойчивостью (подсолнечник, озимая рожь, люцерна и ячмень с массовой долей в посеве соответственно 55 %, 97 %, 20 % и 96 %) в весенне-летний период имели наибольшее преимущество в весовом составе травосмесей и над сорной растительностью. В целом наиболее угнетёнными из-за засухи были растения клевера и промежуточного посева горчицы.

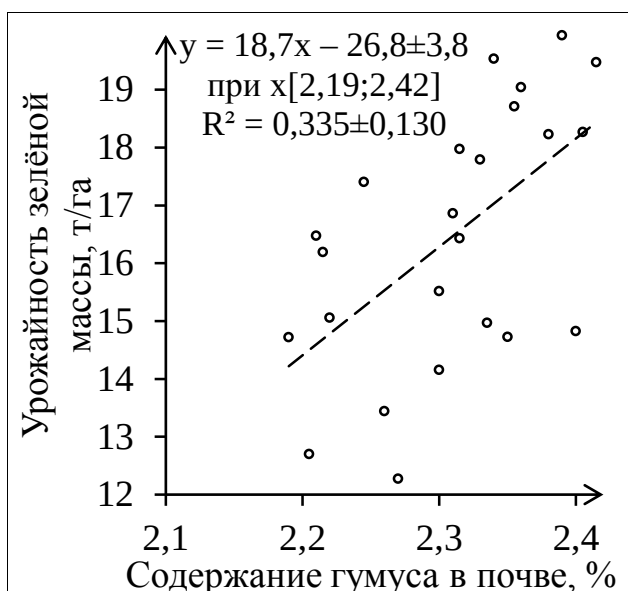


Рис. 7. Влияние содержания гумуса в слое почвы 0-20 см на урожайность надземной биомассы кормовых культур, 2013-2018 гг.

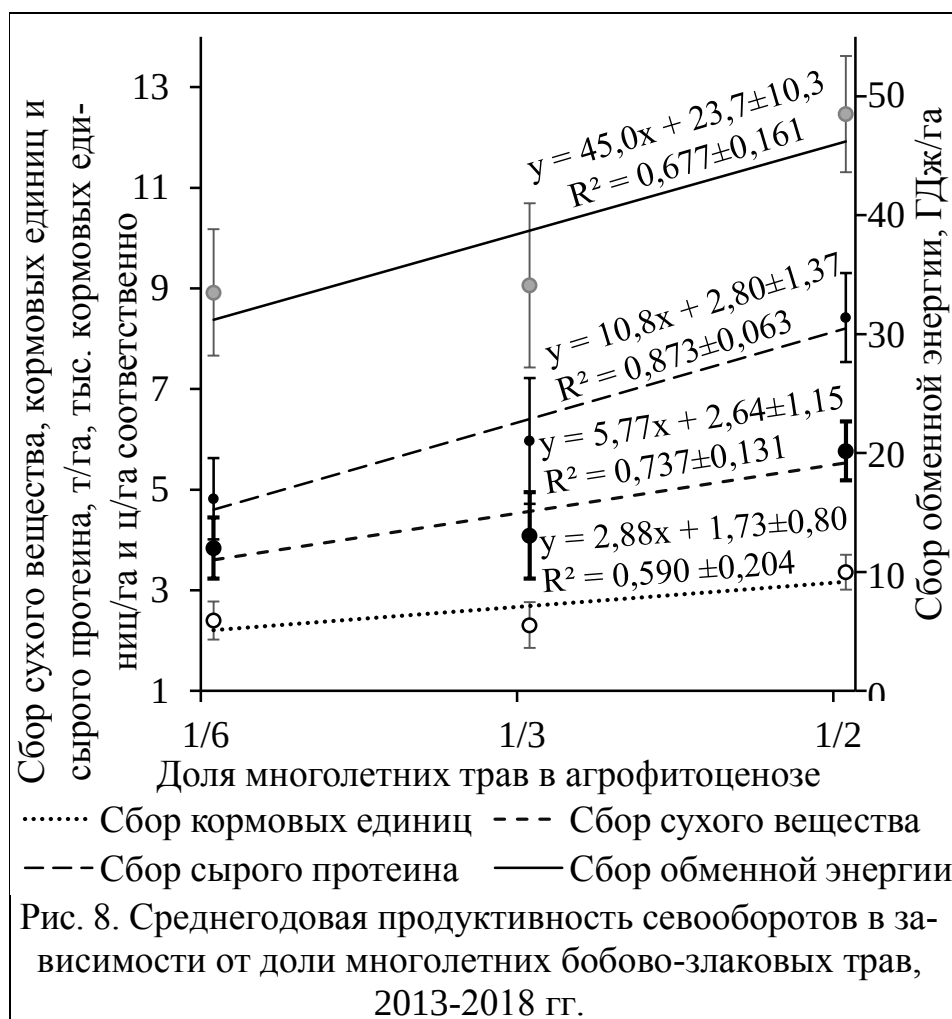
Установлено, что с каждым повышением содержания гумуса в почве на 0,1 % увеличивалась урожайность зелёной массы культур в среднем на 1,9% (рис. 7).

Продуктивность севооборотов и качество кормов. Установлено явное преимущество шестипольного севооборота (табл. 2) с долей насыщения многолетними травами $\frac{1}{2}$ над остальными по сбору сырого протеина, сухого вещества, обменной энергии и кормовых единиц (в порядке убывания). Он превышал агрофитоценоз с долей многолетних трав $\frac{1}{6}$ по данным показателям в среднем на 73,0, 48,6, 42,9 и 37,7 % ($H_{05}(A)$ в пределах 17,1-19,8 %) соответственно, а с долей $\frac{1}{3}$ – на 40-43 %.

Таблица 2 – Среднегодовая продуктивность кормовых севооборотов, в среднем за 2013-2018 гг.

Доля многолетних трав		$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\bar{x}$
Сбор сухого вещества, т/га	N_0	3,51	3,86	5,37	4,25
	N_{60}	4,18	4,33	6,05	4,85
	$\bar{x}$	3,84	4,09	5,71	4,55
$H_{05}=0,78$; $H_{05}(A)=0,61$; $H_{05}(1)=0,46$; $H_{05}(AB)$: $H_0:d=0$					
Сбор сырого протеина, кг/га	N_0	430	530	762	574
	N_{60}	534	665	906	702
	$\bar{x}$	482	597	834	638
$H_{05}=126$; $H_{05}(A)=99$; $H_{05}(B)=75$; $H_{05}(AB)$: $H_0:d=0$					
Сбор обменной энергии, ГДж/га	N_0	30,7	31,6	45,5	35,9
	N_{60}	36,3	36,6	50,2	41,0
	$\bar{x}$	33,5	34,1	47,9	38,5
$H_{05}=7,6$; $H_{05}(A)=6,0$; $H_{05}(B)=4,5$; $H_{05}(AB)$: $H_0:d=0$					
Сбор кормовых единиц, тыс. кормовых единиц/га	N_0	2,20	2,11	3,08	2,46
	N_{60}	2,60	2,51	3,53	2,88
	$\bar{x}$	2,40	2,31	3,30	2,67
$H_{05}=0,47$; $H_{05}(A)=0,37$; $H_{05}(B)=0,28$; $H_{05}(AB)$: $H_0:d=0$					

Установлена высокая положительная связь между насыщенностью севооборотов многолетними травами и изученными показателями продуктивности (рис. 8).



личивались соответственно на 0,48 тыс. кормовых единиц, 0,96 т сухого вещества, 180 кг сырого протеина и 7,5 ГДж обменной энергии.

В вариантах также наблюдалась заметная (R^2 в среднем 0,468) положительная прямолинейная связь изученных показателей продуктивности с содержанием общего азота в почве.

При двух и трёхлетнем использовании многолетних травосмесей достоверно ($НСР_{05}(A)=0,3\%$, или 2,6 %) повысилась доля сырого протеина в сухом веществе на 15,9 % с 12,7 % при однолетнем (табл. 3).

Наибольшее содержание обменной энергии (8,81 МДж/кг) и кормовых единиц (0,625 кормовых единиц/кг) принадлежало контрольному севообороту.

На фоне $N_{60}P_{60}K_{60}$ концентрация азотосодержащих соединений в среднем была выше, чем на фоне $P_{60}K_{60}$ на 7,5 % ($НСР_{05}(B) = 1,4\%$), кормовых единиц – на 2,2 % ($НСР_{05}(B) = 1,4\%$). Максимальное преимущество N_{60} перед N_0 прослеживалось в севообороте с долей многолетних трав $1/3$ (12,1 %, 6,7 %, 3,3 % соответственно).

Самое высокое качество объёмистых кормов по содержанию сырого протеина (17,0 %) отмечено у горчицы, а обменной энергии (8,8 МДж/га) – у смеси из вики, овса и подсолнечника.

Продуктивность возделываемых культур в агрофитоценозах на фоне $N_{60}P_{60}K_{60}$ повышалась на 14,2-22,3 % ($НСР_{05}(B)$ в пределах 10,1-11,7 %) относительно варианта без внесения азота ($N_0P_{60}K_{60}$).

Показатели продуктивности, полученные при доле многолетних трав $1/6$ с 1 га пашни (2,21 тыс. кормовых единиц, 3,60 т сухого вещества, 460 кг сырого протеина и 31,2 ГДж обменной энергии), с ростом на $1/6$ уве-

Таблица 3 – Качество получаемых кормов в травянозерновых севооборотах, в среднем за 2013-2018 гг.

Доля многолетних трав		$1/6$	$1/3$	$1/2$	$\bar{x}$
Доля сырого протеина в сухом веществе, %	N ₀	12,3	13,7	14,1	13,4
	N ₆₀	12,8	15,4	15,0	14,4
	$\bar{x}$	12,6	14,6	14,6	13,9
HCP ₀₅ = 0,4; HCP ₀₅ (A) = 0,3; HCP ₀₅ (B и AB) = 0,2					
Содержание кормовых единиц в сухом веществе, кормовых единиц/кг	N ₀	0,628	0,548	0,575	0,584
	N ₆₀	0,621	0,581	0,589	0,597
	$\bar{x}$	0,625	0,565	0,582	0,591
HCP ₀₅ = 0,014; HCP ₀₅ (A) = 0,011; HCP ₀₅ (B и AB) = 0,008					
Содержание обменной энергии в сухом веществе, МДж/кг	N ₀	8,75	8,21	8,47	8,48
	N ₆₀	8,86	8,46	8,32	8,55
	$\bar{x}$	8,81	8,34	8,40	8,52
HCP ₀₅ = 0,29; HCP ₀₅ (A) = 0,23; HCP ₀₅ (B и AB): H ₀ :d = 0					

Биоэнергетическая и экономическая эффективность возделывания культур. Применение аммиачной селитры при возделывании кормовых культур, как самой затратной операции, увеличивало (HCP₀₅ = 3,5 %) совокупные энергозатраты в севооборотах со 121-141 ГДж/га на 19,8-24,0 % (табл. 4).

Таблица 4 – Биоэнергетическая эффективность возделывания культур в агрофитоценозах, 2013-2018 гг.

Варианты	$1/6$			$1/3$			$1/2$			$\bar{x}$		
	N ₀	N ₆₀	$\bar{x}$	N ₀	N ₆₀	$\bar{x}$	N ₀	N ₆₀	$\bar{x}$	N ₀	N ₆₀	$\bar{x}$
Затраты совокупной энергии, ГДж/га	141	173	157	125	155	140	121	145	133	129	158	143
	HCP ₀₅ = 5; HCP ₀₅ (A) = 3; HCP ₀₅ (B, AB) = 2											
Энергообеспеченность сырого протеина, МДж/кг	55,0	54,2	54,6	40,0	39,0	39,5	26,8	26,6	26,7	40,6	39,9	40,3
	HCP ₀₅ = 5,0; HCP ₀₅ (A) = 3,9; HCP ₀₅ (B, AB): H ₀ :d = 0											
Энергообеспеченность кормовых единиц, МДж/кормовых единиц	10,7	11,1	10,9	10,0	10,3	10,2	6,6	6,8	6,7	9,1	9,4	9,3
	HCP ₀₅ = 1,1; HCP ₀₅ (A) = 0,8; HCP ₀₅ (B, AB): H ₀ :d = 0											
Коэффициент энергетической эффективности	1,31	1,26	1,29	1,52	1,42	1,47	2,27	2,12	2,20	1,70	1,60	1,65
	HCP ₀₅ = 0,29; HCP ₀₅ (A) = 0,23; HCP ₀₅ (B, AB): H ₀ :d = 0											

При доле многолетних трав в севооборотах $1/2$, по сравнению с долей $1/6$, эти затраты сократились со 158 ГДж/га на 15,3 % (HCP₀₅(A) = 2,1 %), на производство 1 кг сырого протеина с 54,6 МДж в 2,0 раза (HCP₀₅(A) = 9,7 %), увеличив коэффициент энергетической эффективности с 1,29 на 70,5 % (HCP₀₅(A) = 13,9 %).

На каждые 16,7 % ($1/6$) насыщения кормовых агрофитоценозов многолетними бобово-злаковыми травами происходило увеличение показателя коэффициента энергетической эффективности производства кормов на 0,45 до 2,10

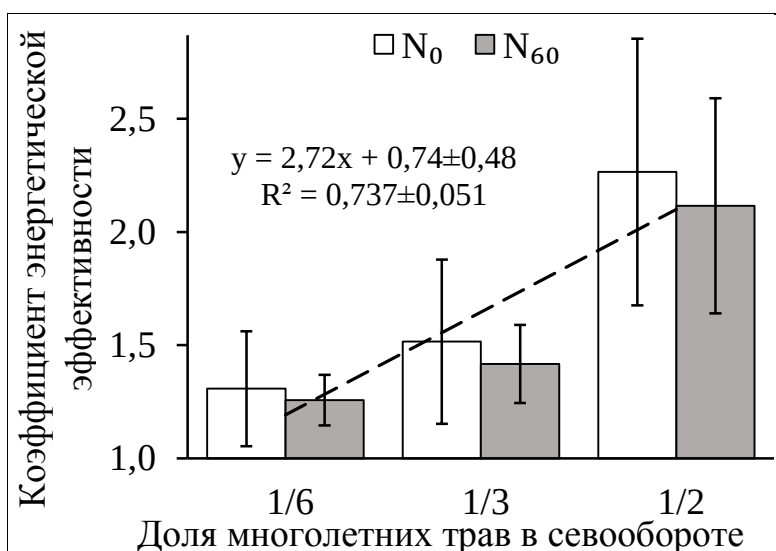


Рис. 9. Влияние насыщенности севооборотов многолетними травами на коэффициент энергетической эффективности, 2013-2018 гг.

при доле $\frac{1}{2}$ (рис. 9). Связь между этими данными была высокая (R^2 в среднем 0,737) по шкале Чеддока. Энергообеспеченность получения 1 кормовой единицы, напротив, уменьшалась с долей вариации 87,2 % на 2,1 МДж до 7,1 МДж, 1 кг сырого протеина (доля вариации 90,4 %) – в среднем на 14,0 МДж до 26,4 МДж, затраты совокупной энергии при $P_{60}K_{60}$ (доля вариации около 75,1 %) – на 10 ГДж/га до 119 ГДж/га, суммарных энергорасходов в условиях применения $N_{60}P_{60}K_{60}$ (доля вариации

94,8 %) – на 14 ГДж/га до 144 ГДж/га.

Поля с одно-двухлетними культурами (рис. 10) были самыми энергоём-

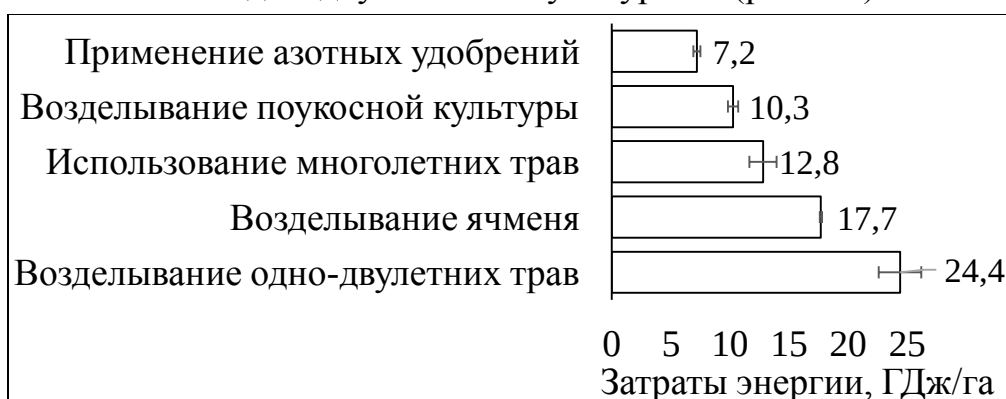
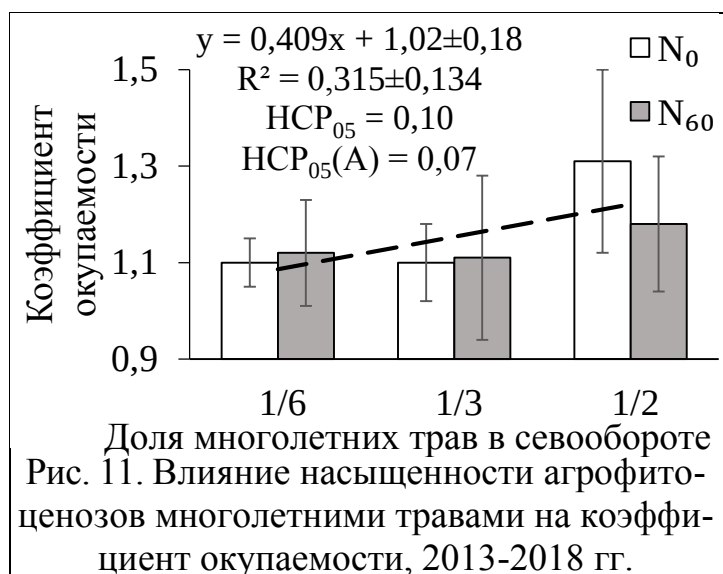


Рис. 10. Среднегодовые энергетические затраты на основные виды расходов, 2013-2018 гг.

кими (свыше 17,7 ГДж/га за год возделывания). Применение азотных удобрений увеличивало энергозатраты ещё на 7,2 ГДж/га. Их внесение повышало совокупные затраты

на возделывание ячменя в среднем на 40,7 %, одно-двухлетних трав – на 29,5 %. Благодаря росту продуктивности культур повышение затрат полностью компенсировалось соответствующим увеличением коэффициента энергетической эффективности, уменьшением энергоёмкости кормовых единиц и сырого протеина.

Коэффициент окупаемости, являющийся аналогом коэффициента энергетической эффективности по экономической оценке, при увеличении доли многолетних бобово-злаковыми травами в севообороте с $\frac{1}{6}$ до $\frac{1}{2}$ повышался ($НСР_{05}(A) = 0,07$, или 6,1 %) на 12,5 % (рис. 11). Согласно уравнению, на каждую $\frac{1}{6}$ насыщения многолетними травами коэффициент окупаемости увеличивался на 0,07.



Самым экономически эффективным за шесть лет был севооборот с долей многолетних трав $1/2$. При стоимости его урожая в 79,1 тыс. руб./га чистая прибыль (15,5 тыс. руб./га) была выше в 2,2 раза ($HSP_{05}(A) = 48,5 \%$), рентабельность (24,7 %) – в 2,3 раза ($HSP_{05}(A) = 48,1 \%$) и коэффициент окупаемости (1,30) – на 17,7 % по сравнению с севооборотами, где многолетние бобово-злаковые травы использовались один-два года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования показали, что на дерново-подзолистых почвах в условиях Республики Марий Эл урожайность культур в кормовых агрофитоценозах в значительной степени определяется гидротермическими условиями.

1. Установлено, что в слое почвы 0-20 см без внесения азотных удобрений при насыщении кормовых севооборотов многолетними бобово-злаковыми травами с $1/6$ до $1/2$ отрицательная динамика содержания гумуса уменьшалась с 0,35 % до 0,11 %, общего азота – с 0,90 г/кг до 0,37 г/кг, подвижного фосфора – соответственно, увеличивалось с 86 мг/кг до 199 мг/кг. При этом реакция среды и содержание подвижного калия оставались неизменными.

2. Наибольшее количество питательных веществ пожнивно-корневых остатков (9,8 т/га сухого вещества, 115 кг/га азота, 72 кг/га фосфора и 75 кг/га калия) поступало после заделки в почву озимой ржи с поукосным посевом горчицы и многолетних бобово-злаковых трав.

3. В полях севооборота с максимальным набором таких засухоустойчивых культур, как озимая рожь, ячмень и подсолнечник, отмечалась наименьшая массовая доля сорняков (4,0-10,6 %).

4. При увеличении содержания гумуса в почве на 0,1 % урожайность культур повышалась на 1,9 т/га. Внесение азотных удобрений увеличивало количество зелёной массы с первого укоса и суммы за два укоса одно-двулетних культур и зерна ячменя на 20,9 %. Урожайность многолетних трав со второго укоса и викоовсяной смеси с первого сильно зависела от ГТК ($R^2 > 0,64$).

5. Показатели продуктивности, полученные при доле многолетних трав $1/6$ с 1 га пашни (2,21 тыс. кормовых единиц, 3,60 т сухого вещества, 460 кг сырого протеина и 31,2 ГДж обменной энергии), с ростом на $1/6$ увеличивались соответственно на 0,48 тыс. кормовых единиц, 0,96 т сухого вещества, 180 кг сырого протеина и 7,5 ГДж обменной энергии. На фоне $N_{60}P_{60}K_{60}$, в отличие от $N_0P_{60}K_{60}$, продуктивность севооборотов была на 14,2-22,3 % выше, содержание сырого

протеина и кормовых единиц – на 7,5 % и 2,2 % выше.

6. Насыщение травянозерновых севооборотов многолетними бобово-злаковыми травами с $\frac{1}{6}$ до $\frac{1}{2}$, независимо от уровня внесения удобрений, увеличивал КЭЭ в среднем с 1,19 до 2,10, рентабельность – на 8,8 % до 22,5 %. Энергообеспеченность 1 кормовой единицы при этом уменьшалась с 11,4 МДж до 7,1 МДж, сырого протеина – с 54,3 МДж до 26,4 МДж. Поля с одно- и двухлетними культурами были самыми энергоёмкими (свыше 17,7 ГДж/га за год возделывания). Применение азотных удобрений увеличивало их ещё на 7,2 ГДж/га. Благодаря росту продуктивности возделываемых культур эти затраты полностью компенсировались равнозначным увеличением КЭЭ, уменьшением энергоёмкости сырого протеина и кормовых единиц.

В перспективе планируется изучить агрофитоценозы с другими видами трав, нетрадиционными для условий Республики Марий Эл, с применением различных агрохимикатов, биопрепаратов.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. На дерново-подзолистых почвах Республики Марий Эл при возделывании культур в кормовых севооборотах увеличивать в них долю многолетних бобово-злаковых травосмесей до 50 %.

2. В травянозерновом севообороте на фоне $P_{60}K_{60}$ ежегодно применять азотные минеральные удобрения в дозе 60 кг/га д.в. под все культуры, кроме многолетних бобово-злаковых травосмесей.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ

1. **Свечников А.К.** Азотные удобрения и продуктивность кормовых севооборотов / **А.К. Свечников**, В.М. Измestьев, Е.А. Соколова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – Т. 63. – № 2. – С. 69-73.

2. **Свечников А.К.** Накопление пожнивно-корневых остатков и питательных элементов в кормовых севооборотах / **А.К. Свечников** // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019. – Т. 20. – № 6. – С. 613-622.

3. **Свечников А.К.** Преимущества травянозерновых севооборотов от продления срока использования клеверо-люцерно-тимофеечной смеси / **А.К. Свечников** // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2020. – Т. 21. – № 6. – С. 752-763.

4. Козлова Л.М. Влияние многолетнего использования кормовых бобово-злаковых травосмесей на урожайность культур в агрофитоценозах / Л.М. Козлова, **А.К. Свечников** // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35. – № 3. – С. 15-22.

5. **Свечников А.К.** Динамика ботанического состава в кормовых агрофитоценозах на основе бобово-злаковых травосмесей / **А.К. Свечников**, Л.М. Козлова // Таврический вестник аграрной науки. – 2021. – № 2 (26). – С. 178-190.

6. Козлова Л.М. Биоэнергетическая эффективность фитоагроценозов при

возделывании многолетних бобово-злаковых трав / Л.М. Козлова, **А.К. Свечников** // Земледелие. – 2022. – № 1. – С. 14-19.

Статьи в журналах, тематических сборниках и материалах конференций

1. Измestьев В.М. Влияние многолетних бобово-злаковых трав на продуктивность кормовых севооборотов / В.М. Измestьев, **А.К. Свечников**, Е.А. Соколова // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». – 2017. – Т. 3. – № 11. – С. 28-33.

2. Измestьев В.М. Влияние многолетних трав и минеральных удобрений на продуктивность кормовых севооборотов / В.М. Измestьев, **А.К. Свечников**, Е.А. Соколова // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования. – Солёное Займище: Прикаспийский НИИ аридного земледелия, 2017. – С. 523-527.

3. **Свечников А.К.** Продуктивность бессменного посева козлятничко-кострецовой травосмеси после снижения дозы внесения минеральных удобрений / **А.К. Свечников**, С.А. Замятин, С.А. Максуткин // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. Мосоловские чтения. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2020. – Т. 22. – С. 17-20.

4. **Свечников А.К.** Продуктивность зерна ячменя в структуре кормовых севооборотов / **А.К. Свечников**, Р.Б. Максимова, Е.А. Соколова // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. Мосоловские чтения. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2019. – Т. 21. – С. 107-109.

5. **Свечников А.К.** Продуктивность и качество зелёной массы козлятничко-кострецовой травосмеси при длительном применении минеральных удобрений / **А.К. Свечников**, Е.А. Соколова // Мелиорация почв для устойчивого развития сельского хозяйства. Материалы междунар. науч.-практ. конф., посв. 100-летию со дня рождения проф. А.Ф. Тимофеева. – Киров: Вятская ГСХА, 2019. – С. 249-254.