

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого
(ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока)

Марийский НИИСХ – филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока

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

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
Козлова Людмила Михайловна,
доктор сельскохозяйственных наук

Йошкар-Ола, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	8
1.1 Преимущества возделывания бобово-злаковых травосмесей и некоторых кормовых культур в агрофитоценозах.....	8
1.2 Влияние кормовых культур, минеральных удобрений и севооборотов на плодородие почвы	23
2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	31
2.1 Методика проведения исследований	31
2.2 Почвенные условия опытного участка	34
2.3 Метеорологические условия исследовательского периода.....	35
3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	45
3.1 Влияние травянозерновых севооборотов на плодородие почвы	45
3.1.1 Агрохимические характеристики почвы	45
3.1.2 Накопление пожнивно-корневых остатков.....	57
3.2 Засорённость кормовых культур	64
3.3 Характеристики урожая культур в севооборотах	71
3.3.1 Урожайность зелёной массы и зерна	71
3.3.2 Продуктивность севооборотов и качество кормов.....	83
3.4 Биоэнергетическая и экономическая эффективность возделывания культур в агрофитоценозах	91
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	102
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ.....	104
СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	105
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	106
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	135

ВВЕДЕНИЕ

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 [43; 116; 136]. 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 высокочувствительного применения минерального азота за счёт выращивания бобовых культур [170; 181; 182; 223]. 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 азотфиксации 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 [32] 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)» [48], «Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования (Солёное Займище, 2017)» [47], «Мелиорация почв для устойчивого

развития сельского хозяйства (Киров, 2019)» [112], «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. Мосоловские чтения (Йошкар-Ола, 2019, 2020)» [109; 110].

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.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Преимущества возделывания бобово-злаковых травосмесей и некоторых кормовых культур в агрофитоценозах

Во многих исследованиях было количественно определено влияние чередования культур [151; 165; 222] и предшественников [101; 165; 222; 239] на различные показатели.

Согласно исследованиям Li J. [et al.] [254], в 8-польных севооборотах продуктивность бобовых культур зависит от климатических и других условий проведения исследований [162]. Данные культуры являются эффективными в повышении продуктивности последующих злаковых [198].

Урожайность, содержание белка и другие показатели изучаемого в Эфиопии пивоваренного ячменя увеличивались в зависимости от предшественника (в порядке убывания: фасоль, полевой горох и рапс) и повышения внесения азотных удобрений (N_{18-54}). Повторные посевы ячменя предсказуемо уменьшали данные показатели [153; 226].

Ещё в начале XX в. К.А. Тимирязев [121] считал включение бобовых растений в севооборот одним из полезнейших открытий для человечества. Другой основоположник отечественного земледелия, Д.Н. Прянишников [147], утверждал, что в Западной Европе за счёт их введения в чистом виде и смешанных посевах урожайность зерновых возросла двукратно, позже – совместно с химизацией – ещё в два раза.

Без внесения азотных удобрений было замечено, что после бобовых предшественников урожайность озимой тритикале выше, чем после ярового ячменя более, чем на 1,5 т/га [260; 261].

При биологизации земледелия начали рекомендовать промежуточные и подпокровные бобовые культуры, а доля бобовых культур в структуре севооборотов увеличилась до 33 % [2; 13; 25; 59; 95].

Бобово-злаковые севообороты более продуктивны и экономически эффективны, чем бессменные посевы злаковых [197], а иногда и кукурузно-соевые [149].

Аналитический обзор данных 44 африканских публикаций продемонстрировал увеличение урожайности зерна злаковых в среднем на 0,49 т/га (41 %) в севооборотах из зернобобовых и зерновых культур, по сравнению с бессменным посевом зерновых [258].

Согласно данным исследователей [151; 222], валовая прибыль при возделывании бобовых культур ниже, чем у зерновых и масличных. Она увеличивается у всего севооборота в результате выращивания последующих культур. В европейских условиях после зернобобовых культур урожайность зерновых повышается на 0,5-1,6 т/га. Воздействие такого предшественника более существенно при низком уровне внесения азотных удобрений по отношению к последующим посевам и сопоставимо с небобовыми масличными культурами.

В ходе математического моделирования исследований Iannetta P.P. [et al.] [150], оптимальное соотношение бобовых культур в травосмеси и чистом виде по продуктивности, эффективности возделывания, фиксации и накоплению азота в кормовых севооборотах составило 40-60 %. Также подчеркнута важность изучения насыщенности севооборотов бобовыми в конкретных почвенно-климатических и социально-экономических условиях.

Введение зернобобового предшественника в севообороты с преобладанием зерновых в умеренных европейских условиях увеличивает урожайность последующей зерновой культуры на 0,5-1,6 т/га [222]. Некоторое положительное влияние возможно и на вторую и третью последующие культуры [211]. В полусасушливых условиях увеличение урожайности после зернобобовых гораздо меньше. Например, после вики в центральной Испании прибавка у ячменя составляет лишь около 0,2 т/га [203].

В полусасушливых районах Восточной Индонезии выращивание бобовых трав на зелёную массу увеличивало урожайность зерна последующей кукурузы на 50 %, на сидерацию – на 90 % [185; 228].

Учёные [11; 40] утверждают, что многолетние травы в кормовом севообороте продуцируют основную биомассу. Этому способствуют высокий уровень таких показателей, как продуктивность, качество, концентрация незаменимых питательных

веществ, адаптивность, эффективное ресурсосбережение и восполнение в почве органического вещества, борьба с эрозией, экологические улучшения на основе сокращения распаивания угодий и пестицидной нагрузки.

Многолетним формам бобовых культур в земледелии России принадлежит свыше 60 % фиксированного и накопленного азота [87].

Многолетние травы в большинстве хозяйств Нечерноземной зоны России составляют основу производства объемистых травянистых кормов (до 70% и более в общей структуре сырья) [43].

Исследователи [33; 91] утверждают, что поливидовые посевы многолетних трав являются ключевыми в долгосрочной стабилизации высокопродуктивных агрофитоценозов в условиях биологизации земледелия.

F. Isbell [et al.] [159] выяснили, что всё больше исследований подтверждают преимущество многообразия растений в смешанных посевах, севооборотах через частичную замену удобрений, пестицидов, импортируемых опылителей, орошения. На основе двух крупнейших и длительнейших опытов по влиянию биоразнообразия на агроэкосистемы (Йена, Тюрингия, Германия [163] и Сидар-Крик, Миннесота, США [180]) было зафиксировано существенное улучшение большинства изучаемых показателей по мере увеличения количества видов в смешанных посевах с 1 до 16. Подчеркнута особая важность повышения стабильности урожая в результате обогащения таксономического [161; 194], функционального [236] или генетического [174] разнообразия агроэкосистем перед лицом климатических возмущений.

Многолетние агроценозы особенно в условиях эрозии почвы, составленные из трав различных семейств (бобовые и мятликовые), полнее используют ресурсы среды, повышая продуктивную стабильность биомассы относительно различных погодных условий по годам [27]. Особо важные кормовые виды данных семейств в нашей стране хорошо изучены [144].

В многолетних бобово-злаковых травосмесях за год после бобового компонента в почве остаётся 10-75 кг/га азота [172].

Выращивание растительных смесей с бобовыми может повысить содержание кормового белка в рационах жвачных животных [264], а также незаменимых аминокислот, каротина, витаминов и других важных питательных веществ, урожайность и плодородие почвы [132]. Благодаря совместному выращиванию кукурузы и красного клевера (с последующим использованием на корм во второй год жизни) в междурядье, возможно за счёт снижения потерь NO_3^- в почве, увеличить содержание белка в зелёной массе на 26-60 % [202; 214].

Результаты свыше 90 исследований показали, что переход к смешанным посевам увеличивает урожайность в среднем на 2,2 %. Большие эффекты от такого многообразия наблюдались при выращивании в условиях повышенных стрессов [243].

В обзорной статье К.А. Вубее-Финлей, М.Р. Райан [166] утверждалось, что смешанные посевы за счёт повышения стабильности урожая во времени и по месту снижают риск её недобора. Так, при изучении 69 опытов со смесью бобовых и злаковых культур коэффициенты вариации однокомпонентных бобовых и злаковых травосмесей были 0,3, 0,25 и 0,19 соответственно [167; 241]. На основе 35 публикаций выяснилось, что применение смешивания культур с сопутствующими бобовыми без прополки в сравнении с монокультурой уменьшало биомассу сорняков на 56 % [168]. Также указывалось на то, что многовидовость травостоя снижает ущерб, наносимый вредными организмами за счёт уменьшения числа восприимчивых хозяев и увеличения устойчивых [266]. К примеру, на основе свыше 200 исследований по листовным патогенам, в смешанных посевах заболеваемость была ниже на 73 %, чем в соответствующих монокультурах [164]. Тем не менее, в обзоре авторы отмечали затруднения в оптимальных сроках скашивания при наличии в травостое более одного культурного вида из-за различий в скороспелости созревания.

В глобальном мета-анализе А.Д. Ашворта [et al.] [201] из 1015 исследований наибольший коэффициент отзывчивости (в среднем 66 % по урожайности) смешивания бобового компонента со злаковыми продемонстрировали варианты без внесения минерального азота. При норме внесения азота 8-100 кг/га данный показатель равнялся 32 % (943 исследования). Дальнейшее увеличение нормы внесения

азотных удобрений временами снижало эффект в среднем до 14 %. В 30-40 % рассмотренных публикаций он был отрицательным. Также наибольшая отзывчивость от введения бобовых в травосмесь была зафиксирована в многолетних агроценозах, которая равнялась в среднем 50% (2142 исследования; в более прохладные сезоны – 52 % (2208 исследований); при наличии лишь одного бобового компонента в смеси – 52 % (2500 исследований). При введении двух видов подобная отзывчивость проявлялась лишь в среднем 6 % опытов, которая в условиях Средиземноморья составляла 114 % (136 исследований), влажного континентального климата – 45 % (1545 исследований); почвенной структуры илистая глина – 122 % (142 исследования), легкосуглинистой почвы – в 2,5 раза меньше (211 исследований). Изучаемый коэффициент сильнее всего зависел от выбора злакового компонента в бобово-злаковую травосмесь. Среди произрастающих в условиях Республики Марий Эл многолетних злаковых отзывчивость была наибольшей у костреца, составившая 105 % по данным 215 исследований. Далее по порядку убывания у овсяницы показатель соответствовал 76 % в среднем за 149 исследований, плевела – 75 % (229 исследований), ежи – 67 % (278 исследований), тимофеевки – 63 % (80 исследований), житняка – 50 % (172 исследования), других – 43 % (243 исследования). Выбор однолетних видов злаковых проявлял продуктивную отзывчивость использования бобовых в травосмеси не выше 14 % (около 1000 исследований).

Согласно некоторым публикациям [160; 207], продуктивное превосходство бобово-злаковых травосмесей над наиболее урожайными злаковыми монокультурами составляло 9 %, 15 % и 7 % по сбору сухого вещества (СВ) в первый, второй и третий год пользования (г.п.) соответственно.

Всё же биомасса поливидовых посевов чаще уступает высокоурожайным монокультурам [195]. В результате сбор сухого вещества у бобово-злаковых травосмесей при многократном укосе за год и кукурузы на силос формируется почти одинаковым. В условиях песчаных почв и умеренного сухого климата Бранденбурга она составляет 9-9,5 т/га [256; 262].

Z. Zeng [et al.] [218] сообщают, что по всему Китаю на протяжении веков, не считая агрохимической интенсификации с середины 1980-х до недавних времён,

севообороты с многолетними бобово-злаковыми травами с последующим выращиванием зерновых культур признавались универсальными в использовании. Среди бобовых культур основной и лучшей считалась люцерна.

Известно, что продуктивность биомассы многолетних агрофитоценозов из-за низкой скорости развития в первый год жизни не превышает 30-40 % от последующих лет [26].

Во многих публикациях для увеличения сохранности бобовых в смеси с мятликовыми рекомендуется использовать более одного бобового компонента различного долголетия и засухоустойчивости [52; 80; 126]. Изреживание бобовых с последующим выпадением через два-три года сменяется более стабильными и долголетними злаковыми, минимизируя пространство для сорняков [53; 122].

Наиболее частые компоненты кормовых бобово-злаковых травосмесей – это красный клевер (*Trifolium pratense*), люцерна (*Medicago sativa*) и различные виды трав, адаптированные к региональным условиям [213; 256].

Согласно многим авторам, оптимальный злаковый компонент для лугового клевера – это тимофеевка [5; 85]. Например, в условиях Удмуртской Республики опыты показали, что в первый год использования продуктивность чистовидового тетраплоидного лугового клевера (контроль) был наравне с травосмесями клевер+timoфеевка, клевер+люцерна+timoфеевка и клевер + лядвенец + тимофеевка (7,7-8,0 т/га СВ в основном за счёт клевера), а других травосмесей гораздо ниже. Во второй г.п. только у агроценоза клевер+timoфеевка сбор СВ превышал контрольный вариант (6,5 т/га) на 0,3 т/га также в основном за счёт первого компонента. Только на третий год контроль по продуктивности СВ (2,9 т/га) существенно уступал травосмесям (3,1-4,5 т/га), в которых доля клевера снизилось до трети [53].

В условиях Тверской области при изучении клеверо-люцерно-злаковых смесей выяснено, что совмещение двух видов бобовых может снизить потребность в азоте в два раза, сохранить до 13 % сырого протеина и обеспечить стабильную продуктивность 25-30 т/га зелёной массы (ЗМ). В качестве злакового компонента тимофеевка по содержанию сырого протеина в биомассе превосходила ежу сборную и овсяницу луговую [105].

Согласно С.Т. Эседуллаеву (Ивановский НИИСХ) [142], основная доля (не менее 60 %) зелёной массы различных бобово-злаковых травостоев приходится на первый укос, если только один из компонентов не представлен люцерной изменчивой.

Результаты опыта В.Р. De Haas [et al.] [172], проведённого в Нидерландах, показали, что сбор сухого вещества в зелёной массе смешанных посевов плевела и клевера (от двух до четырёх видов) превосходили средневзвешенные значения соответствующих монокультур в среднем на 33 % (до 14,7 т/га), по первому укосу – на 37 %. В других исследованиях страны представленные показатели у клеверно-злаковых травосмесей были ниже [242; 268]. Всё же в 79 % участков такие смеси имели урожайность надземной биомассы на 18 % больше, чем самые высокоурожайные монокультуры [183]. Сбор перевариваемого органического вещества в опыте был выше на 31 %. Доля сорных растений в биомассе снижалась в два раза [172]. Заметное их подавление клеверо-злаковыми травосмесями наблюдалось и в других опытах [183] благодаря увеличению спектра признаков и лучшего поглощения ресурсов даже в условиях засухи [172; 259].

Подсев бобового компонента (люцерна) в шестипольный кормовой севооборот с трёхлетним использованием костреца безостого в условиях Западной Сибири во второй ротации увеличил среднегодовой сбор СВ в надземной биомассе в 1,8 раза (6,7 т/га), а внесение N_{60} – в 1,7 раз (6,3 т/га). Перевариваемый протеин в таком случае возрос в 2,7 раза (0,65 т/га) и 2,1 раз (0,5 т/га), обеспеченность кормовых единиц (КЕ) перевариваемым протеином – на 41 % (до 124 г), а содержание нитратного азота в почве (слой 0-20 см) – в 2,5 раз (до 5,7 мг/кг) и 1,7 раз (3,9 мг/кг) соответственно [21].

При изучении 18 бинарных посевов бобово-злаковых травосмесей в восточной Канаде (злаковый компонент: мятлик луговой, овсяница луговая и тростниковая, ежа сборная, тимофеевка или костёр Биберштейна и бобовый компонент: люцерна, белый клевер или лядвенец рогатый), G. Bélanger [et al.] [269] выяснили, что лучшими по продуктивности и качеству полученных кормов были костёр Биберштейна

в сочетании с люцерной или лядвенцем рогатым. Тимофеевка давала лучшие показатели при сочетании или с клевером, или с люцерной. Так, смешивание тимофеевки с люцерной приводит к более эффективному использованию азота жвачными [155].

Доля бобовых в травосмеси не менее 80 % фиксирует больше как углерода, так и азота (до 540 кг/га в год). Соответственно увеличиваются общая длина и масса корневой системы, а сбор сухого вещества в зелёной массе достигает 16,5 т/га. [256].

В опытах Исландии выяснено [8; 212], что повышение энергопротеиновых ресурсов почвы благодаря пожнивно-корневым остаткам при укосном использовании лучше всего получается в смесях из 65-75 % бобовых, а при пастбищном – 30-50 %.

Многолетние агрофитоценозы клевера и люцерны характеризуются огромным потенциалом в азотофиксации. Они способны синтезировать в биомассе до 0,25 т/га азота только за счёт воздуха и ещё до 0,5 т/га – имеющихся запасов в почве [12]. По некоторым исследованиям, клевер за счёт симбиотической азотофиксации способен связать 100-380 кг/га в год [172; 237]. Например, при сборе зелёной массы 20 т/га в надземной части накапливается элемента до 160 кг и 40 кг в корнях [70; 102; 137].

При сравнении продуктивности севооборотов экономия по азоту составляет 40-190 кг/га при введении люцерны, 10-130 кг/га – гороха, до 110 кг/га – сои [156; 271].

Несмотря на огромные преимущества по экономии ресурсов и синергизму между продуктивностью и биоразнообразием поливидовых посевов особенно из бобовых культур [199; 234; 237], существуют сложности по оптимальным срокам посева, обеспечиванию питательными веществами, борьбе с сорняками, сбору урожая [256]. Разнообразие вредителей и болезней возрастает, что ведёт к исчезновению санитарного эффекта монокультур [175]. К тому же в некоторых исследованиях (в многолетних биоэнергетических системах земледелия) их продуктивные преимущества не подтверждаются [173]. Основные потери в урожайности – это результат конкуренции составляющих культур на совокупные ресурсы [248].

Во Всероссийском институте кормов рекомендуют в общей структуре многолетних трав расширять посевы из бобовых культур и их смесей со злаковыми

до 75 %. Получаемые объёмистые корма будут содержать свыше 15 % СП, 10 МДж ОЭ в 1 кг СВ и снижать затраты на их производство в полтора раза [96].

В обзорной статье Е.Е. Борисовой [10] уделено много внимания изученности роли многолетних бобово-злаковых травосмесей. В ней она заключила, что кормовые культуры, особенно многолетние травы на основе бобовых культур, всегда относились к основному фактору, увеличивающему плодородие почвы, продуктивность элементов и всего севооборота. Согласно обзору, они после себя в слое 20-см способны оставлять 7-8 т/га (для сравнения, яровые зерновые – 2-3, а озимые – 3,5-5,2 т/га) СВ из пожнивно-корневых остатков (ПКО) [108]. Установлено, что питательные элементы подпахотных слоёв (фосфор, кальций) концентрируются в более верхних [3]. В.П. Заикин и др. [37] рекомендовали использовать в кормовых севооборотах именно клевер, люцерну и тимофеевку в чистом виде и смеси в связи с наибольшей распространённостью успешного возделывания в данной зоне в условиях дерново-подзолистости почв. Согласно его данным, насыщение севооборотов ими более, чем на 40 % обеспечивало положительный баланс гумуса особенно гуминовых кислот; при увеличении с 25 до 50 % в зернотравяных продуктивность возрастала в 1,8 раза. Согласно выводам В.Д. Абашева, Б.П. Мальцева [3], повышения стабильности урожая в случае 2-3-летнего использования бобово-злаковых травосмесей можно добиться выбором в пользу тройных смесей: два бобовых компонента и один – злаковый. В некоторых исследованиях [45] показано, что в Волго-Вятском регионе последний компонент здесь является страховым в годы частичного выпадения других.

Белорусских исследователи [133] отмечали, что насыщение злаковых травостоев бобовыми улучшает переваримость получаемых из них кормов животными через увеличение содержания легкопереваримых углеводов и оптимизацию соотношения между концентрацией ОЭ и СП. Опыты показали, что доля бобовых видов в травостое свыше 50% по продуктивности может быть эквивалентна внесению N₁₅₀₋₁₈₀ в злаковом травостое.

М.Ю. Новосёловым и др. [89] установлено, что энергозатраты при возделывании многолетних бобовых и бобово-злаковых трав обычно составляет около

14-16 ГДж/га, при заготовке – 22-24 ГДж/га. При выращивании однолетних трав они возрастают в 2-2,5, а пропашных на кормовые цели – в 3-3,5 раза. Коэффициент вариации (V) урожайности рассматриваемых культур назвали самым низким среди кормовых (7-13 %). Поэтому они представляют высокую ценность для территорий с небольшим биоклиматическим потенциалом.

Согласно Ф.А. Попову и др. [97], оптимальные затраты на возделывание зерновых культур составляют 16-19 ГДж/га.

Согласно результатам других исследователей [8; 81; 210], энергозатраты на интенсивное возделывание мятликовых агрофитоценозов выше, чем бобово-злаковых трав, в 1,5-2,5 раза.

Каждый год продления использования трав ведёт к дальнейшему снижению затрат и повышению коэффициента энергетической эффективности (КЭЭ) на 2-3 [125; 127].

В.А. Сысуев и В.А. Фигурин [118] считают, что тройные травосмеси из двух бобовых влаголюбивых (например, клевер луговой) и засухоустойчивых культур (люцерна на слабокислых почвах и лядвенец рогатый – сильнокислых) и одного злакового компонента особенно стабильны к погодным условиям. Также выяснено [34], что при создании данных травостоев, наряду с повышением продуктивности, стабильности и питательной ценности зелёной массы, существенно продлевается функциональное долголетие.

Многие отечественные исследователи [63; 64; 86; 114] считают, что в структуре посевных площадей и севооборотов для значительного увеличения поступления в почву гумуса и биологического азота необходимо свыше 25-30 % многолетних трав, особенно бобовых культур.

В некоторых исследованиях [69; 75] утверждается, что травянозерновые севообороты способны обеспечивать наиболее оптимальное энергетическое протеиновое соотношение в кормах и получение 6 т молока с 1 га угодий. При этом энергетические затраты не превышают 3,87 ГДж на 1 т продукции. Авторы этих исследова-

дований считают, что в Нечерноземье доля многолетних трав в структуре кормовых угодий должна превышать 70 % и предпочтение необходимо отдавать травопольным и прифермским кормовым севооборотам.

Всё же по данным заложенного в 1985 году опыта в Италии F. Castelli [et al.] [231], можно видеть, что кормовой севооборот с 50 % насыщенностью клеверо-овсяничной травосмесью по продуктивности и влиянию на почву немного уступал, а по сбору сырого протеина (СП) превосходил однолетние и трёхлетние севообороты, которые были высоко насыщены культурными растениями СЗ типа. Тем не менее, многолетние луговые бобово-злаковые травостои в течение 30 лет улучшали все показатели.

Согласно опытам Л.М. Козловой и др. [55; 57–59] с шестипольными севооборотами с высоким уровнем интенсификации на дерново-подзолистой почве, в севооборотах с 50 % насыщенностью бобовыми культурами среднегодовой сбор КЕ равнялся 4,7-5,7 тыс. КЕ./га, в специализированных зерновых севооборотах – 4,7-4,9 тыс. КЕ/га, основную долю обеспечивала самая высокоурожайная зерновая культура – ячмень.

В исследованиях Ф.И. Привалова и А.Ч. Скирухи [99] в Республике Беларусь 8-польный плодосменный с 25% и 9-польный зернотравяной севооборот с 33 % насыщенностью многолетними клевером и клеверо-злаковыми травами имели одинаковый уровень выхода КЕ (8,9 тыс. КЕ), сбора переваримого протеина (0,9 т) и урожайности зерна (2,7 т) с 1 га пашни. При 55 % насыщении ими продуктивность севооборота была несколько ниже (8,3 тыс. КЕ/га). Для прифермских шестипольных севооборотов было рекомендовано 2-3 летнее использование клевера и его смесей со злаковыми. Их продуктивность кормовых единиц (11,5 тыс. КЕ/га) превышала зерновые колосовые культуры (11,5 тыс. КЕ/га) почти в два раза, а протеина – в три раза [106; 115]. Выяснено, что во избежание потерь в урожайности клевера до 60 % в севооборотах с данной культурой, её следует возвращать на прежнее место не ранее, чем через три года. Так, в восьмипольном севообороте доля куль-

туры при одногодичном использовании должна быть не более 25 % [84]. Определено, что структуру севооборота можно насыщать клеверо-злаковой смесью не более 40 %, люцерно-злаковой – 40-50 %, а зерновыми колосовыми – 67 % [41; 100].

В кормовых севооборотах лесостепи Украины оптимальная структура достигалась при наличии 2-3 полей с многолетними травами, 1-2 полей с кукурузой на зелёную массу, по одному полю – яровые колосовые с однолетними травами и кормовые корнеплоды. При переходе к такому севообороту сбор КЕ с 1 га увеличивался на 11,4 %, а энергоёмкость производства 1 КЕ снизилось на 18,1 %, достигнув 3,98 МДж [22].

В опытах П.С. Семешкина и др. [102] продуктивность, энергетическая и экономическая эффективность севооборотов при снижении доз минеральных удобрений с $N_{30}P_{30}K_{30}$ до $N_{20}P_{20}K_{20}$ возрастала с увеличением в них доли бобовых культур с 30 до 40% и выше.

В условиях лесостепных агроландшафтов Челябинской области [20] 10-польные зернотравяные севообороты благодаря многолетним бобовым травам обеспечивали наиболее близкий к оптимальному энергоматериальный баланс в системе почва – растение. КЭЭ в таких севооборотах составлял 2,8-3,7, а 1 ГДж энергозатрат обеспечивал производство до 0,17-0,19 т зерна.

Согласно результатам длительного (30 лет) полевого опыта Белгородского ФАНЦ РАН, у зернотравянопропашного севооборота, структура которого насыщена многолетними бобовыми травами на 40 %, КЭЭ равнялся 4,7, что на 22,3 % выше, чем у зернопаропропашного и зернопропашного севооборотов [19].

На торфяных почвах Кировской лугоболотной опытной станции [123] травопольные севообороты с удельным весом многолетних злаковых трав не менее 60-70% при полном внесении минеральных удобрений обеспечивали продуктивность ОЭ в 60-70 ГДж/га. Таким почвам свойственны высокое содержание фосфора и повышенная кислотность. Выяснено, что урожайность однолетних культур и многолетних бобовых трав сильно варьировала в зависимости от гидротермического коэффициента, уровня осадков.

В Пензенском НИИСХ [7] наибольшая продуктивность (3,3-6,1 тыс. КЕ/га в зависимости от фона удобрений) и КЭЭ получены в севопольном севообороте из двух полей овса, одного поля смеси озимой ржи и вики, двух полей суданской травы в смеси с викой озимой и двух полей многолетних бобовых трав с промежуточными посевами после уборки озимой смеси.

В Тульской области [146] увеличение в севообороте доли многолетних трав с 25 до 43% приводило к повышению выхода сухого вещества с 1 га в 3,1 раза (на 6,17 т), КЕ – в 2,5 раза (на 4970 КЕ), сырого протеина – в 2,4 раза (на 0,7 т), обменной энергии (ОЭ) – в 2,9 раза (на 85,7 ГДж); затраты энергии на производство 1 кг сухого вещества снизились в 2,2 раза (на 3,02 МДж), 1 КЕ – в 1,9 раза (на 2,13 МДж), КЭЭ при этом увеличился в 2,5 раза. Введение в кормовой севооборот 43% многолетних трав без удобрений сформировало в 2,8 раза больше сухого вещества, чем без многолетних трав при внесении $N_{90}P_{90}K_{90}$.

В Центральном Нечерноземье при внесении $N_{30}P_{60}K_{60}$ и увеличении доли многолетних трав в 6-польных зернотравяных севооборотах с 17-33 % до 50 % урожайность культур в среднем повысилась на 27,2 %, сбор сырого протеина – на 26,2 %, сбор ОЭ – 13,5 % [143].

В условиях Канады в четырёхпольном севообороте с двумя полями люцерны за 14 лет КЭЭ возделывания картофеля в был в среднем на 10 % выше, чем в других пяти севооборотах [189].

В Карпатском регионе Украины КЭЭ при выращивании бобово-злаковых травостоев на фоне внесения $P_{90}K_{90}$ составил 2,1–2,9, а без внесения 2,8-3,7 [233].

Минеральные удобрения, особенно азотные, и дизельное топливо – наиболее энергоемкие ресурсы в сельскохозяйственном производстве [176; 191; 250]. Так, в распространённых короткоротационных севооборотах Индии на использование удобрений приходится в среднем 54,6 % потребляемой энергии [255].

В условиях штата Айова (США), азотные удобрения среди статей энерго-расходов в звене севооборота кукуруза-соя составляли в среднем 58 %, а в трёх- и четырёхлетних травянозерновых севооборотах с долей многолетних бобовых трав $\frac{1}{4}$ и $\frac{1}{3}$ – всего 16 % и 22 % соответственно [196].

В Центральном Нечерноземье РФ КЭЭ при семилетнем возделывании многолетних бобово-злаковых трав на фоне внесения $N_{130}P_{50}K_{130}$ в среднем за 7 лет был в 2,0...2,5 раза меньше, чем на фоне $P_{50}K_{130}$ (11,1-10,6) [154].

Таким образом, многолетние бобово-злаковые травы являются основой эффективных севооборотов, повышения плодородия почвы [65] при существенной экономии азотных удобрений [34; 112], мобилизации труднодоступных для растений фосфорных соединений [49; 50], повышения урожайности и качества получаемых кормов [103].

Наиболее широко используемыми травосмесями в качестве покровных культур являются бобово-злаковые с одинаковыми сезонными потребностями [205; 249].

Промежуточные культуры играют важную роль в снижении потерь питательных веществ и обеспечении хорошей экоэффективности [257]. В качестве промежуточных можно использовать крестоцветные культуры даже в условиях Кировской области. Наиболее высокие урожаи лучше всего получить в поукосных посевах после уборки зерновых на зелёный корм, особенно при соблюдении сроков и качества выполнения агромероприятий, применении азотных удобрений и увеличении рекомендуемой нормы высева на 15-20 % [56].

В научных публикациях [14; 15; 113] отмечается, что озимая рожь отличается высокой экологической адаптивностью и стабильной продуктивностью. Благодаря этому у культуры низкие экономические риски независимо от погодных условий. В результате в засушливые годы её можно считать страховой культурой [245]. К тому же среди зерновых культур рожь лучше всего растёт на почвах с низким рН, включая и малоплодородные дерново-подзолистые, характеризующиеся скудностью содержания в них питательных веществ, повышенным содержанием подвижных форм Al и Mg и подавленностью микробиоты. Несмотря на пониженную требовательность культуры к почве, долю минеральных удобрений в её продуктивности С.И. Новосёлов и др. [30] называют 91,5 % [94].

Ячмень относится к важнейшим зерновым культурам [35; 110], особенно в качестве зернофуражной культуры. Высокая и стабильная урожайность у него прояв-

ляется только в результате обеспеченности элементами питания с первых фаз развития [1; 92; 110]. Наибольшая в мире общая площадь посевов ячменя находится в России [107]. В Республике Марий Эл культура занимает около 15 % в общей структуре посевов. В благоприятные годы средняя урожайность здесь достигает 1,9 т/га. В засушливые она снижается более, чем в два раза. Низкий уровень применения удобрений и пестицидов, очень высокая насыщенность севооборотов зерновыми злаковыми культурами привели к снижению урожайности на 30 % и более [98; 110]. М.А. Евдокимовой [35] был оценён потенциал культуры по урожайности зерна в Республике на уровне 4,5-6,0 т/га.

Овёс можно выращивать на широком диапазоне плодородия почв (рН 4,5-8,6 ед., лучше всего суглинистых) при температуре 5-26 °С и выпадении свыше 500 мм осадков [208]. Для получения зелёной массы обычно его используют в травосмеси с горохом или викой в качестве опоры для бобового компонента [217]. К тому же в биомассе при этом намного увеличивается как содержание СП [270], так и остальные кормовые характеристики, сбор СВ [158]. Следует отметить, что оптимальную долю овса в травосмеси с викой по норме высева в МарГУ называют 50 % [67], в ОАО «Агрофирмы Дмитрова Гора» в Тверской области – 70 % [120; 134].

Согласно отечественным и зарубежным исследованиям, многолетние бобовые культуры в смеси со злаковыми в кормовых агрофитоценозах способствуют, прежде всего, повышению и стабилизации продуктивности культур, росту содержания белковых соединений в урожае и энергетической ценности получаемых кормов, обогащению почвы гумусом, азотом и другими питательными веществами, эффективному производству продукции. Уточнение их влияния на количественные и качественные показатели в многолетних агрофитоценозах в условиях Республики Марий Эл имеет научное и практическое значение. Одно- и двухлетие культуры, включая промежуточные, в кормовых севооборотах в основном оптимизируют сырьевой конвейер, а также препятствуют развитию и распространению вредных организмов.

1.2 Влияние кормовых культур, минеральных удобрений и севооборотов на плодородие почвы

А.С. Башков с соавторами [129] утверждают, что простое и расширенное воспроизводство плодородия почв требует обязательного внесения удобрений с полным возвратом основных элементов питания растений. В почвах Нечернозёмной зоны РФ дефицит органического вещества особо выражен [38; 39; 111]. В дерново-подзолистых почвах Евро-Северо-Востока России ежегодно теряется до 0,5-1,9 т/га гумуса. За последние 20 лет в Республике Марий Эл потери составили 0,13 % [60].

Почвенное плодородие за счёт перенасыщения питательными веществами может сохраняться в течение нескольких лет после отказа от внесения удобрений, что повсеместно подтверждалось соответствующим российским «перестроечным» эффектом в 1990-е гг. Поэтому отсутствие отзывчивости культур при предельном насыщении их удобрениями может исчезать лишь при изменении других условий произрастания (температура, влажность почвы) [44]. Напротив, при низком уровне внесения удобрений эффект от внесения, например, азота гораздо выше [203].

Запасы азота в почве важны для отрастания многолетних трав после скашивания, например, плевело-овсяничной травосмеси или люцерны [169].

При невысоком содержании гумуса отмечают необходимость периодической заделки в нижнюю часть пахотного слоя почвы органических удобрений или пласта многолетних трав [54].

Из исследований Ивановского НИИСХ [138] следует, что при увеличении доли многолетних бобовых трав в пяти- и шестипольных севооборотах до 40 и 50 % даже без применения удобрений создаются условия положительного гумусового баланса и повышения продуктивности гектара севооборотной площади до 70 %.

В условиях Тульской области [146] без применения минеральных удобрений в кормовом севообороте при 43% многолетних бобовых трав удавалось достичь положительного (628 кг/га) баланса гумуса. При внесении же $N_{22}P_{22}K_{22}$ накопление гумуса в почве увеличилось лишь на 52 кг/га.

В Тамбовском НИИСХ исследователи утверждали, что за ротацию в 10-польных севооборотах с двумя полями многолетних трав в 0-30 см слое почвы содержание гумуса увеличилось с 6,85 до 7,2 % [68; 90].

В условиях Пензенской области [7] прибавка гумуса в кормовых севооборотах с многолетними травами за шесть лет достигала 1 %.

Ячмень отличается высокой отзывчивостью на удобрения [128]. В Нечернозёмной зоне внесение удобрений под зерновые колосовые в благоприятных почвенно-климатических условиях увеличивает урожайность на 20-50 %, а в неблагоприятных – до 3-6 раз [119]. На дерново-подзолистых почвах России урожайность его больше всего зависит от содержания азота в почве. Прибавка урожая культуры от данного элемента составляет в среднем 48 %, от фосфора – 30 %, калия – 22 % [4]. В опытах В.Д. Абашева и др. [4] – это 60, 25 и 15 % соответственно. В данных исследованиях показано, что полное внесение минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$) было экономически наиболее эффективным [110]. Согласно исследованиям О.В. Чухина [131] на аналогичной почве, при минимальных дозах удобрений сбор зелёной массы викоовсяной травосмеси составляла 22 т/га, при расчётных – 29 т/га.

Севообороты с бобовыми культурами с годами обладают кумулятивным эффектом, увеличивающим остаточную влагу и азот в почве, улучшающий её микробиологические свойства [171; 244]. Это сопровождается подавлением патогенных микроорганизмов [193; 235], оптимизацией биопроцессов и ответной реакцией от роста корней предшественников [157; 238], например, разлагающими растительные остатки экссудатами ризосферы бобовых [240; 253].

Для бобовых требуется относительно большое количество калия и фосфора. Более того, образование клубеньков и фиксация азота могут быть ограничены из-за низкого запаса и других питательных веществ и высоких или низких температур [206; 209]. Следовательно, с насыщением агрофитоценозов бобовыми культурами возрастает необходимость применения фосфоро-калийных удобрений [29; 104]. Их внесение повышает активность азотофиксирующих бактерий, а усвоение почвенного азота почти не улучшается [77; 112]. Известно, что фосфор и калий улучшают фиксацию азота, укрепляют корни у египетского клевера [184; 187]. При большом

количестве фосфора доступность многих микроэлементов (металлов) снижается [76]. Количество фиксированного азота также сильно варьирует от климатических условий, технологий возделывания, доступности в почве воды и даже азота [162; 230]. Избыточное количество элемента неблагоприятно для азотофиксации [186; 232; 254].

Выращивание клеверо-злаковых травостоев может быть равноценно внесению навоза с высоким содержанием питательных веществ [220; 221].

В нидерландских опытах зернистость почвы при смешивании различных видов клевера и плевела была выше на 40 %, масса корней – на 19 %, чем в соответствующих средневзвешенных бобовых и злаковых монокультурах. Благодаря остаткам побегов и корней азота [225; 229] в клеверном и клеверо-плевельном травостое было накоплено свыше 110 кг/га [172].

По итогам 30-летнего стационарного опыта в Республике Беларусь с 20 севооборотах лучшие результаты по поступлению органических остатков и балансу гумуса были продемонстрированы в зернотравянопропашном и зернотравяном севооборотах с 25 и 33,3% многолетних трав (клевер 1-го г. п., клевер + злаки 2-го г. п.). Положительный баланс здесь был как в навозно-минеральной (свыше 0,2%), так и в минеральной системе внесения удобрений (0,01-0,04%). Увеличение срока выращивания свыше трёх лет и доли многолетних трав в севообороте с 33 до 83 % не повышало содержание гумуса [82].

В течение опыта использование промежуточных культур на кормовые цели создавало тенденции повышения содержания гумуса в почве на 0,16-0,19% при совместном применении навоза и минеральных удобрений и на 0,03-0,07 % – только минеральных [82].

По некоторым исследованиям [79] зафиксированы четырёхкратные потери гумуса в 0-40 см слое почвы при насыщении севооборотов пропашными культурами с 25 до 75 % (до 2 т/га в год). Выявлено, что лишь за счёт структуры севооборотов положительный баланс органического вещества возможен при 40 %-ной насыщенности многолетними травами (клевер) с исключением пропашных культур.

В ходе длительного использования чернозёма выщелоченного в севооборотах [73] лишь при внесении полного минерального удобрения в пахотном и подпахотных слоях почвы отмечалось улучшение азотного питания растений. Увеличение доли однолетних трав и пропашных культур в таких севооборотах повышало себестоимость получаемых кормов и потерю органического вещества почвы в 1,5-1,8 раза.

В опыте Е.В. Марчука [71] преимущество зернотравяного севооборота из однолетних и многолетних бобово-злаковых трав по содержанию гумуса в пахотном слое почвы по отношению к севообороту без бобовых достигало 0,28 %.

Отечественные учёные [88; 147] утверждают, что поступление корне-пожнивных остатков (корни и неотчуждаемые при уборке надземные части растений) и органических удобрений в почву определяют формирование в ней гумуса.

А.В. Ширяев [135] отмечает, что в связи с избирательностью корней, набор их массы прямо зависит от обеспеченности влагой и питательными веществами в почве.

Многолетние растения покрывают почву более длительное время, чем однолетние [152]. Под их почвой у микроорганизмов гораздо выше поддержка, активность [214; 216], биомасса и многообразие [178], особенно при использовании травосмесей из бобовых и злаковых культур [172].

В обзорной статье Н.М. Мудрых и И.А. Самофалова [79] утверждают, что возделывание однолетних культур вместо многолетних и вспашка полей в севооборотах – это путь к снижению поступления в почву ПКО и усилению минерализации гумуса. Далее они ссылаются на то, что исходные данные остатков могут сильно зависеть от высоты среза растений при уборке и методических различий в учёте подземного органического вещества в почве.

В кормовых севооборотах повышение доли однолетних культур, как отмечают Z. Zhou [et al.] [149], уменьшает в почве пористость, долю органического углерода, накопление азота.

В рассмотренном обзоре [79] было отмечено исследование В.Р. Олехова [83], где установлено снижение поступления ПКО от клеверного травостоя с

10,6-14,7 т/га в благоприятные годы вегетации до 2 раз – в жаркие и сухие. Согласно некоторым заключениям, одна ротация биологизированного севооборота превосходила типичный на 33 % по поступлению растительных остатков, причём больше всего было под клевером (до 7,1 т/га) и клеверо-тимофеечной смесью (до 8,3 т/га). Е.В. Колобова и П.А. Постникова [62] максимумы отметили в зернотравяном севообороте, минимумы – при введении чистого пара даже при одногодичном использовании клевера. В другом исследовании [224] благодаря многолетним травам была оставлена максимальная масса ПКО (до 7,1 т/га), тогда как минимумы были учтены после картофеля (до 2,7 т/га).

Публикации европейских учёных показывают, что обычно в равнинных районах накопление почти максимального уровня N в почве происходит после трёхлетнего залуженного травостоя [192; 215; 252; 257].

Согласно обзорной статье Р. Weißhuhn [et al.] [256], на плодородных почвах в первом году укосного возделывания бобово-злаковых травосмесей в севообороте фиксация углерода в ПКО составляет 3,6 т/га. Уборка подобной травосмеси сопровождалась положительным углеродным балансом (0,6-0,8 т/га) [148].

В канадских опытах после 4-летнего выращивания однолетних бобовых культур (горох, чечевица и нут) остаточного содержания азота было на 52-110 % больше, чем после пшеницы [253]. В штате Монтана (США) [179; 253] это число составляло 26-50%. В трёхлетнем бобово-злаковом севообороте (пять ротаций) в Саскачеване (Канада) в слое почвы 0-120 см после бобовых культур оставалось азота (76,3 кг/га) на 57,5 % больше, чем после зерновых злаковых.

В результате семилетних исследований в Китае [251] было зафиксировано накопление 24, 20 и 15 т почвенного органического вещества на 1 га пастбища (0-2 м слой почвы) под люцерной, леспедецей и астрагалом сладколистным соответственно. Наивысший ежегодный сбор сухого вещества надземной биомассы (13 т/га), как и концентрированный в ней углерод (6 т/га, если принять расчётное отношение 0,475 углерода к сухому веществу) также принадлежал люцерне [263].

Исследования Л.М. Козловой и др. [23; 24; 42] проведенные на дерново-подзолистых почвах показали, что при наличии занятого пара, пропашных культур и

отсутствии бобовых трав в структуре севооборотов поступление органического вещества было ниже на 25 %, чем в сидеральных севооборотах, и на 30 %, чем в севооборотах с 50 % насыщением бобовыми культурами. Также получен положительный баланс гумуса в почве независимо от уровня внесения удобрений при насыщении севооборотов бобовыми культурами до 50 %. А двухгодичное использование клевера обеспечивало накопление КПО в пахотном слое почвы больше на 0,3-0,5 т, чем одногодичное (около 3,5 т/га).

В.Ф. Каминский и др. [51] утверждают, что в севооборотах с многолетними бобовыми травами возврат в почву органического вещества в виде ПКО составлял 33 %, а их отчуждение было минимальным – 67 %.

В результате 30-летних исследований П.И. Никончика [82] в Республике Беларусь наибольшее поступление органического вещества с ПКО было зафиксировано от многолетних трав (5,0-6,3 т/га), среднее – от зерновых злаковых (2,6-3,2 т/га), наименьшее – от корнеклубнеплодов (0,7-1,2 т/га). Их поступление при 33,3 % насыщенности зернотравяных севооборотов многолетними травами (1-2-летнее использование) достигало наибольших величин (4,1 т/га). При 50 % насыщении запахивалось всего 2,6 т/га (в 1,6 раза меньше). Наименьшее количество органического вещества оставалось в пропашном и зернопропашном севооборотах (1,5-2,3 т/га).

Известно, что фиксированный азот в корнях бобовых наиболее концентрированный и ведёт к накоплению в почве его неорганической формы [219; 253]. Увеличение насыщенности севооборота бобовыми может ускорить уровень разложения органического вещества в почве [253].

В исследованиях Д.А. Болдыря и др. [9] выявлялось 2-6,5 т/га растительных остатков после зернобобовых культур. С ними поступало в почву 30-50 кг/га азота, с остатками зерновых – лишь 17-30 кг/га.

Н.М. Мудрых [78] заключил, что среди основных многолетних бобовых культур в Нечерноземье максимальное обогащение азотом из ПКО наблюдается при выращивании ледвянца рогатого и достигает 739 кг/га, в том числе биологическим азотом – 475,9 кг/га. Значительно меньше остаётся элемента после двухлетнего использования клевера – 575, в том числе биологического – 285 кг/га. Ещё меньше

после люцерны – 407, включая биологический – 273 кг/га. Потенциальная прибавка урожайности яровых зерновых после них достигает 3 т/га.

В скандинавских опытах [246] после горчицы, озимой ржи (солома), подсолнечника, озимого рапса, кукурузы на зерно и тритикале сухая биомасса ПКО превышала 8 т/га, азота в ней содержалось до 132 кг, фосфора – до 24 кг, калия – до 218 кг на гектар.

В исследованиях R.K. Dubey [et al.] [247] растительные остатки горчицы содержали 0,22-0,48 % фосфора.

На основе американских исследований и практики последних десятилетий M. Schonbeck, D. Jerkins и J. Ory [249] заключили, что для увеличения фиксации азота и его доступной для подпокровной культуры массы рекомендуют повышать долю бобовых в травостое более, чем на 50 %, что приводит к низкому соотношению C/N (вика, горох или однолетний клевер + зерно-злаковые; вигна китайская, соя или тропические бобовые + просо или суданская трава; в качестве второго компонента возможны крестоцветные и другие культуры). Для снижения денитрификации акцент делают к сильным потребителям элемента: рожь и другие злаковые, крестоцветные. Превосходство смесей из двух и более разнородных видов покровных культур по функциональности и пользе для почвы перед одновидовыми также подтверждают C.R. Hooks [et al.] [267].

Согласно отечественным и зарубежным исследованиям, многолетние бобовые культуры в смеси со злаковыми в кормовых агрофитоценозах способствуют, прежде всего, повышению и стабилизации продуктивности, росту содержания белковых соединений в урожае и энергетической ценности получаемых кормов, эффективному производству продукции. Также благодаря высокому качеству и количеству растительных остатков почва обогащается гумусом, азотом и другими питательными веществами. Уточнение влияния многолетних трав на количественные и качественные показатели в многолетних агрофитоценозах в условиях Республики Марий Эл имеет научное и практическое значение. Одно- и двухлетие культуры,

включая промежуточные, в кормовых севооборотах в основном оптимизируют сырьевой конвейер, а также препятствуют развитию и распространению вредных организмов.

Таким образом, учёными уделялось большое внимание изучению влияния насыщенности многолетних бобово-злаковых смесей на различные показатели агрофитоценозов при различных схемах внесения минеральных удобрений, в различных почвенно-климатических условиях, чего ранее не проводилось в Республике Марий Эл. Травосмеси на основе бобовых культур особенно многолетних форм, показывали себя лучшими для сохранения и повышения почвенного плодородия в агрофитоценозах при сниженных дозах применения азотных удобрений. Минеральный азот давал преимущество севооборотам с наиболее богатым плодосменом и низкой насыщенностью структуры полей бобовыми культурами.

На основании всего вышесказанного можно утверждать, что исследования, проведённые в кормовых агрофитоценозах на дерново-подзолистой почве Республики Марий Эл, являются актуальными и своевременными.

2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Методика проведения исследований

При написании диссертационной работы были использованы результаты двухфакторного полевого опыта (третья ротация шестипольных кормовых севооборотов), проведённого в 2013-2018 гг. Исследования проводились в рамках Государственного задания (тема № 0767-2018-0016). Место эксперимента – поле Марийского НИИСХ – ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, п. Руэм, Республика Марий Эл. Схема опыта:

Фактор А – агрофитоценозы с различной долей многолетних трав.

I. Севооборот №1 (доля многолетних трав $1/6$), или А₁ (контроль):

1. Викоовсяная смесь с подсевом многолетних трав (клевер + люцерна + тимофеевка);
2. Многолетние травы (клевер + люцерна + тимофеевка) первого года пользования (г.п.);
3. Озимая рожь, поукосно горчица белая;
4. Яровой ячмень;
5. Викоовсяная смесь, поукосно горчица белая;
6. Вико-овсяно-подсолнечниковая смесь.

II. Севооборот №2 (доля многолетних трав $1/3$), или А₂:

1. Викоовсяная смесь с подсевом многолетних трав (клевер + люцерна + тимофеевка);
2. Многолетние травы первого г.п. (клевер + люцерна + тимофеевка);
3. Многолетние травы второго г.п. (клевер + люцерна + тимофеевка);
4. Озимая рожь, поукосно горчица белая;
5. Яровой ячмень;
6. Викоовсяная смесь, поукосно горчица белая.

III. Севооборот №3 (доля многолетних трав $1/2$), или А₃:

1. Викоовсяная смесь с подсевом многолетних трав (клевер + люцерна + тимофеевка);
2. Многолетние травы первого г.п. (клевер + люцерна + тимофеевка);
3. Многолетние травы второго г.п. (клевер + люцерна + тимофеевка);
4. Многолетние травы третьего г.п. (клевер + люцерна + тимофеевка);
5. Озимая рожь, поукосно горчица белая;
6. Яровой ячмень.

Фактор В – внесение минерального азота на фоне $P_{60}K_{60}$.

I. N_0 , или B_1 (контроль);

II. N_{60} , или B_2 .

Севообороты развёрнуты во времени. Расположение вариантов в рендомизированных повторениях, в четырёхкратной повторности, площадь делянок 36 м^2 (учётная – 18 м^2).

В первые две ротации (2001-2012 гг.) система внесения минеральных удобрений в первом варианте фактора В (B_1) была повышенная ($N_{90}P_{90}K_{90}$) к рекомендуемым ($N_{60}P_{60}K_{60}$) в Республике Марий Эл дозам. В связи с пониженным КЭЭ в данном варианте были сокращены дозы удобрений. Таким образом, уровень внесения удобрений во втором варианте фактора В (B_1) не менялся в течение 18 лет. Фосфоро-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. Внесение фосфоро-калийных удобрений проводилось для поддержания высокого уровня их содержания в почве в течение всего опыта. В периоды использования многолетних трав минеральный азот не вносили.

Нормы высева (в млн. шт. всхожих семян/га): овёс (2) + вика (1) + клевер (1) + люцерна (1) + тимофеевка (1); оз. рожь (4); горчица (4); ячмень (3); вика (1) + овёс (3); вика (1) + овёс (3) + подсолнечник (0,02).

Ячмень яровой (*Hordeum vulgare L.*) сорта Владимир выращивался на зернофураж. Другие виды культур в составе смесей или в чистом виде были предназначены на зелёный корм – это яровая вика (*Vicia sativa L.*) сорта Вера, яровой овёс

(*Avena sativa* L.) Буланный, озимая рожь (*Secale cereale* L.) Татьяна, клевер красный (*Trifolium pratense* L.) Мартум, люцерна изменчивая (*Medicago varia* Mart.) Лада, тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.) Вик 85, горчица белая (*Sinapis alba* L.) Белянка и подсолнечник масличный (*Helianthus annuus* L.) Скороспелый 87.

Агротехника возделывания культур выполнялась согласно общепринятым рекомендациям по их выращиванию в Нечерноземной зоне России. Опрыскивание вегетирующих растений средствами химической и биологической защиты не проводилось. Семена однолетних и двулетних культур протравливались рекомендуемыми дозами фунгицида Максим, КС, а ярового ячменя – Дивиденд Стар, КС. Обработка семян многолетних трав агрохимическими средствами не осуществлялась.

Применяемые для проведения сельскохозяйственных работ и составления технологических карт орудия и механизмы были следующие: ДТ-75М, МТЗ-82, ГАЗ-53Б, комбайны СК-6 и Е-281, протравливатель ПСШ-5, погрузчики ПФ-0,75, ЗПС-60, УЗСА-40, сеялки СЗТ-3,6, СЗ-3,6, сельскохозяйственные орудия ЛДГ-15, ПЛН-5-35, АКШ-6Г-01, БЗСС-1,0, РУМ-5А, СП-11.

Учёты и наблюдения, а также расчёт энергетической ценности зерна и зелёной массы проводились согласно методическим рекомендациям по проведению полевых опытов с кормовыми культурами [74]. Ботанический состав определялся весовым методом.

Лабораторные анализы проводились в лаборатории института. Агрохимическое обследование пахотного слоя почвы (0-20 см) в конце второй (2012 год) и третьей (2018 год) ротации севооборотов проведены общепринятыми для научно-исследовательских учреждений методами: содержание гумуса по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213–84), содержание общего азота фотоколориметрическим методом по Кьельдалю (ГОСТ 13496), подвижные формы фосфора калориметрически и подвижного калия на пламенном фотометре по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207–84), кислотность почвы по ГОСТ 26483–85, сумму поглощённых оснований по ГОСТ 27821–88.

В растениях определялись общий азот по ГОСТ 13496, сырую клетчатку – по Гененбергу-Штомману (ГОСТ 31675-2012), сырую золу – путём сухого озоления (ГОСТ 26226–84), сырого жира – по методу Рушковского (ГОСТ 13496.15-85), калия и фосфора по ГОСТ 26207–84, сухое вещество – высушиванием до постоянного веса при температуре – 105°C, БЭВ – расчётно. Отбор почвенного пласта (0-20 см слой) с ПКО производили перед вспашкой рамочным способом по методу Н.З. Станкова [117] с последующей отмывкой.

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 [72]. Экономическую эффективность рассчитывали по технологическим картам с учетом применяемой технологии, фактической урожайности и зональных нормативных показателей [61].

При соблюдении методики полевого опыта и проведении статистической обработки данных (корреляционный и дисперсионный анализ) использовались учебное пособие Б.А. Доспехова [32] и Microsoft Office Excel 2013. Принятый уровень значимости для приведённых в таблицах и рисунках критерий существенности коэффициента регрессии « \pm » и ошибки « \pm » средней « \bar{x} » и коэффициента детерминации « R^2 » составляет 5 %. Обозначения общепринятых статистических данных взяты из того же учебника [32]. В уравнениях «х» и «у» являются соответствующими им показатели горизонтальной оси абсцисс и вертикальной оси ординат.

2.2 Почвенные условия опытного участка

Опытный участок находится в центральной зоне Республики Марий Эл. Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая, пахотный слой в 0-20 см. рН солевой вытяжки почвенного раствора перед закладкой опыта (третьей ротации 2012 год) по вариантам опыта находилась в пределах от кислой до слабокислой (5,0-5,2 ед.). Содержание гумуса низкое (2,23-2,38 %). Средняя плотность почвы составляет 1,25 г/см³. Обеспеченность растений общим азотом в почве низкая, хотя

содержание питательного элемента выше, чем в среднем по Республике (0,23-0,32 %, или 2,3-3,2 г/кг). Поскольку для бобовых требуется относительно большое количество фосфора и калия [206; 209; 227], опыт проводился на земельном участке со следующими агрохимическими характеристиками: содержание (по Кирсанову) подвижного фосфора 890-1010 мг/кг и калия 185-200 мг/кг почвы (табл. 1). В результате среди основных элементов питания рост и развитие растений лимитировал лишь изучаемый нами применяемый азот, содержание которого в почвах Республики очень низкое или низкое, как и в нашем опытном участке.

Таблица 1 – Агрохимические показатели опытного участка (слой почвы 0-20 см, 2012 г.)

Показатель	Вариант	Фактор А		
	Фактор В	А ₁	А ₂	А ₃
Содержание гумуса, %	В ₁	2,38±0,03	2,34±0,05	2,36±0,06
	В ₂	2,29±0,03	2,23±0,00	2,28±0,05
Содержание общего азота, г/кг	В ₁	3,2±0,0	2,9±0,0	3,1±0,1
	В ₂	2,4±0,0	2,3±0,1	2,5±0,1
Содержание Р ₂ О ₅ , мг/кг	В ₁	970±00	970±10	1010±20
	В ₂	890±20	890±10	930±10
Содержание К ₂ О, мг/кг	В ₁	192±5	197±1	200±9
	В ₂	187±4	185±6	191±7
Сумма поглощённых оснований, мг-экв/кг	В ₁	144±3	149±3	150±4
	В ₂	152±5	159±3	149±3
рН солевой вытяжки, ед.	В ₁	5,1±0,1	5,0±0,0	5,0±0,1
	В ₂	5,0±0,0	5,0±0,0	5,2±0,1

2.3 Метеорологические условия исследовательского периода

Территория Республики Марий Эл относится к умеренно континентальному типу климата. Климатическая область – Атлантико-континентальная европейская лесная.

В среднем постоянный снежный покров в поле устанавливается 16 ноября, сохраняясь в течение 150-155 дней, сходит 10-15 апреля. В воздушной территории

Республики безморозный период длится от 120 до 159 дней. Последние весенние воздушные заморозки чаще случаются 17-22 мая. В начале июня они редки. Осенние обычно могут начинаться 17-20 сентября. В итоге активный вегетационный период длится 143-149 дней. Он начинается 28 апреля – 4 мая, а заканчивается 19-24 сентября. За данное время сумма активных температур достигает 2100-2400° С [141]. Согласно публикации учёных нашего института [46], в последние пять десятилетий в Республике Марий Эл среднегодовая температура воздуха имеет тенденцию повышения на 0,03° (с 2,7 в 1957 году до 4,3° С к 2018 году).

Влагообеспеченность территории влияет на фотосинтетический потенциал растений и, следовательно, на урожайность культур [17]. В среднем за каждый год выпадает 520-550 мм атмосферных осадков, в том числе за вегетационный период около 370 мм. Таким образом, гидротермический коэффициент в Республике чаще всего составляет 1,1-1,3, что характерно зоне достаточного увлажнения. Отдельные годы (вероятность 25 %) засушливые [141].

Метеорологические условия в годы исследований (по данным метеостанции г. Йошкар-Ола) в период вегетации выращиваемых культур существенно различались от засушливого и жаркого до влажного и прохладного (Рисунок 1-6).

В мае 2013 года наблюдалась неустойчивая по температурному режиму и осадкам преимущественно теплая погода (Рисунок 1). В среднем за май температура воздуха была на 1,8° выше средних многолетних значений. Осадков в первые две декады мая выпало 178 % нормы (редкие, но обильные дожди), а в третью – всего 50%. Таким образом, погодные условия для проведения полевых работ складывались благоприятно, но прорастание яровых культур и многолетних трав первого года жизни было очень затруднительным и проходило продолжительное время. В севооборотах 5 мая проведено боронование зяби, 8 мая культивация с одновременным боронованием. Посев и прикатывание из-за технических причин проведены только 10 мая. С третьей декады мая по вторую декаду июля наблюдалось пониженное количество выпадающих осадков, составившее в среднем 54 % от климатической нормы и повышенная температура воздуха (на 1-4 °С выше средних многолетних). Дожди, если и были, то в основном ливневыми, локальными. Высокий

запас влаги в почве, накопленный в зимнее-весенний период, из-за жаркой засушливой погоды был быстро исчерпан. В результате это ускорило цветение многолетних трав, тормозило рост соломины, что обусловило их раннюю уборку. Высота растений многолетних трав первого года жизни также была низкой. В итоге гидротермический коэффициент (ГТК) вегетационного периода культур севооборотов до скашивания составил всего 0,65.

После первого укоса бессменной культуры (10 июня) и однолетних травосмесей в севооборотах (5 июля) отрастание отавы прошло интенсивно из-за повышенного выпадения осадков (около 180 % нормы) и повышенной температуры воздуха (на 2 °С выше средне многолетнего значения). Это немного скомпенсировало низкую урожайность первого укоса многолетних трав. ГТК вегетационного периода второму, последнему, укосу (25 августа) достиг уже 1,29.

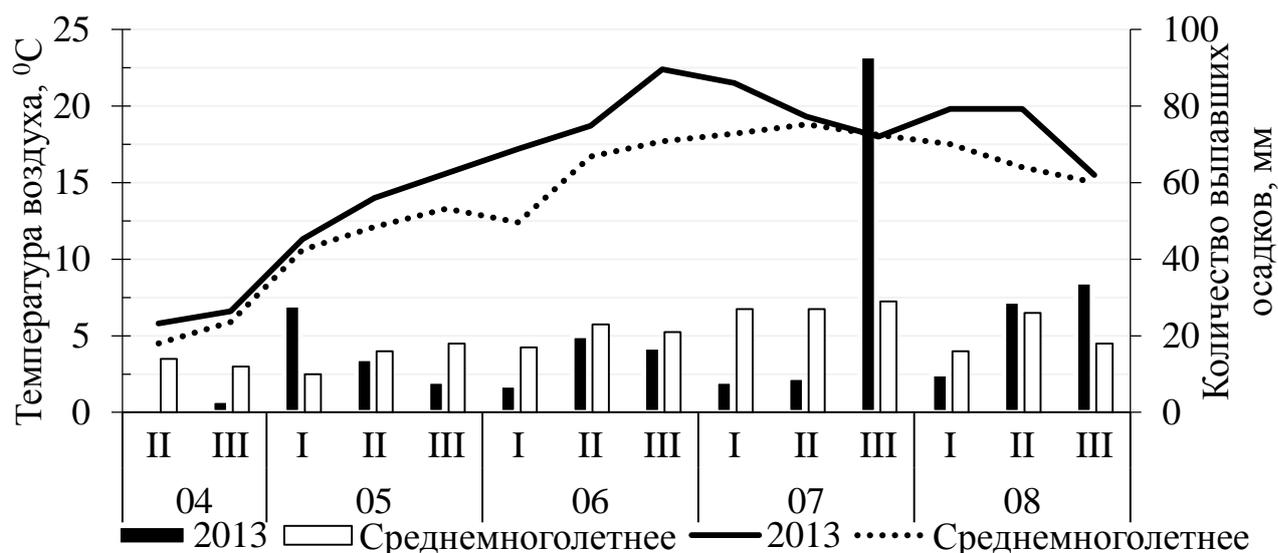


Рисунок 1 – Метеорологические условия вегетационного периода (2013 год)

В целом агрометеорологические условия вегетационного периода 2013 года были близки к удовлетворительным для возделывания сельскохозяйственных культур полевого опыта.

Весна 2014 года была ранней. Сход снежного покрова произошел в конце марта, значительно раньше средних многолетних сроков.

В апреле наблюдалась неустойчивая, в целом теплая погода (Рисунок 2).

Осадков выпало меньше нормы на 44%, что способствовало раннему началу полевых работ. Боронование трав было проведено 25 апреля.

В мае удерживалась тёплая погода. Осадков выпадало мало, в результате чего возобновление вегетации шло очень слабо.

В июне наблюдалась неустойчивая, но более благоприятная погода. Вегетация многолетних трав, ослабленная сухим маем, ускорилась и первый укос их был проведён уже 5 и 18 июня (ГТК 0,58).

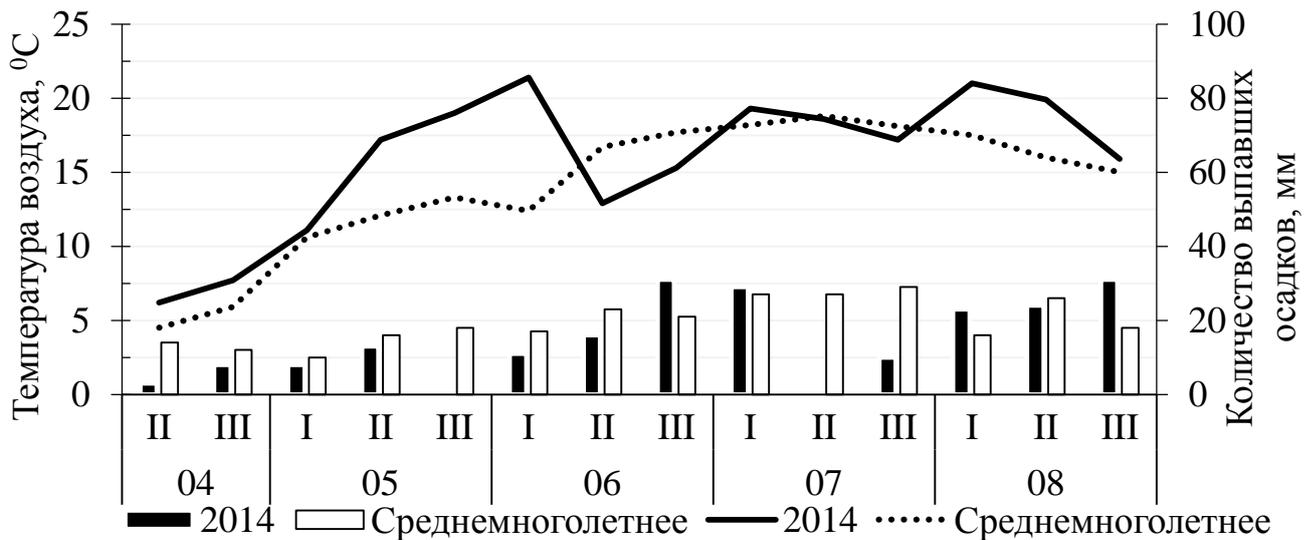


Рисунок 2 – Метеорологические условия вегетационного периода (2014 год)

В июле температурные условия были близки к климатической норме. Во вторую декаду стояла сухая погода, а осадки первой и третьей декад не смогли выровнять месяц по уровню влагообеспеченности республики на 50 %.

Второй укос в варианте А₄ проведён 18 июля, а А₂ и А₃ – 12 августа. К данному моменту ГТК вегетационных периодов трав достиг 0,81.

В августе наблюдалась благоприятная погода по температурному и водному режимам. Благодаря этому посев озимой ржи (25 августа) дал быстрые дружные всходы. Осенью 2014 года он был достаточно обеспечен влагой (ГТК 1,04.).

В целом вегетационный период 2014 года был удовлетворительным для роста и развития традиционных многолетних трав для получения зелёной массы.

Весна 2015 года была поздней. После удовлетворительной и хорошей пере-

зимовки в третьей декаде апреля вегетация озимых зерновых культур и многолетних трав началась на 3–7 дней позже средних многолетних сроков. Боронование трав провели 27 апреля.

Май характеризовался жаркой погодой (Рисунок 3), особенно в третьей декаде (на 6–7°C выше средних многолетних значений). Осадков выпало в достаточном количестве, в результате чего возобновление вегетации шло нормально.

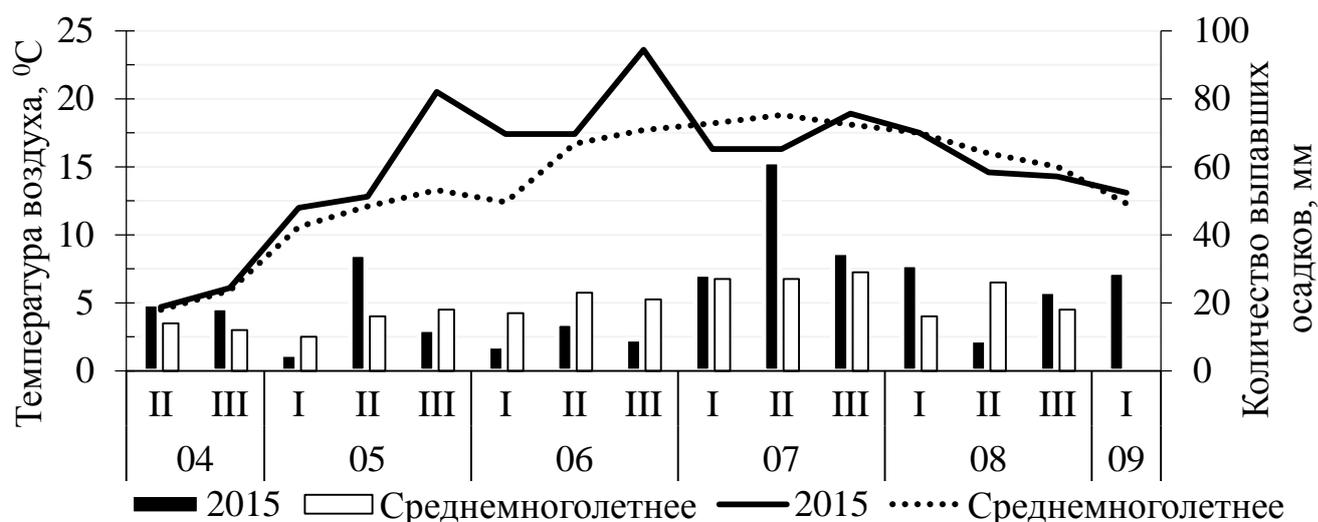


Рисунок 3 – Метеорологические условия вегетационного периода (2015 год)

В июне наблюдалась неустойчивая погода преимущественно с повышенной для месяца (особенно третьей декады) температурой воздуха и недостаточной влагообеспеченностью республики. Это создало удовлетворительные условия для возделываемых в опыте культур, которые достигли уборочной спелости на неделю раньше многолетних сроков. ГТК для озимой ржи и первого укоса многолетних трав составил 0,83 и 0,78 соответственно.

В июле температурные условия были близки к климатической норме. Количество осадков за месяц составило 169 % от климатической нормы. Благодаря этому в течение вегетационного периода поукосного посева горчицы (23 июня – 30 июля) в первом севообороте ГТК достиг 1,78.

В августе наблюдалась благоприятная погода для вегетации трав по температурному и водному режиму. К 21 августа (второй укос трав) ГТК составил 1,37. Для посеянной во втором севообороте озимой ржи 25 августа за оставшееся время в

году он равнялся 0,95.

В целом агрометеоусловия вегетационного периода 2015 года были хорошими для роста и развития испытываемых культур.

Повышенная температура воздуха до конца декабря 2015 года была благоприятна для роста зелёной массы (ЗМ) в фазу кущения культуры озимой ржи, но создавались ощутимые потери в зимостойкости растений ржи и многолетних трав.

Повышенная температура воздуха зимой 2016 года делала метеоусловия малоблагоприятными для зимующих культур.

Весна 2016 года в Республике была очень ранней. После регулярных обильных дождей и повышенной температуры воздуха в первую декаду апреля к 10 числу месяца полностью сошёл снег. Это не дало шанса для образования ледяной корки, что предотвратило выпревание зимующих культур. А к концу второй декады апреля почва оттаяла полностью, но была избыточно и сильно увлажнена. К середине третьей декады (Рисунок 4) повышенная на 3⁰ температура относительно средних многолетних значений и пониженное (9,9 мм) количество осадков позволили создать условия для проведения боронования (28 апреля) и обработки почвы, а также для подкормки озимых культур и многолетних сеяных трав. Состояние озимой ржи и многолетних трав было хорошее.

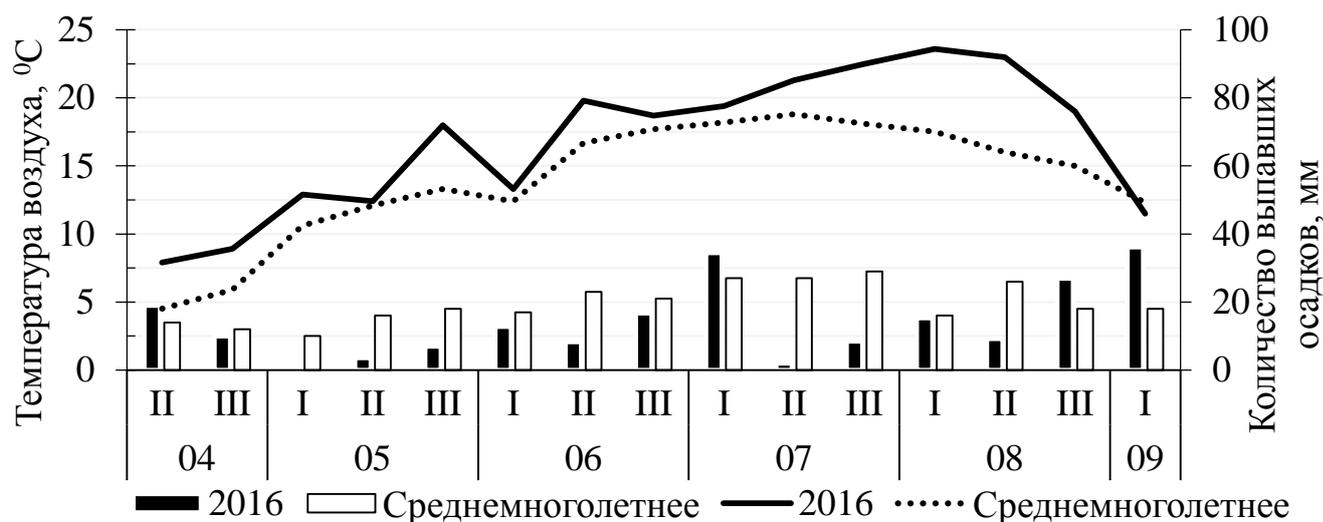


Рисунок 4 – Метеорологические условия вегетационного периода (2016 год)

Май характеризовался жаркой погодой (посев ячменя 4 мая), особенно в третьей декаде месяца. До уборки озимой ржи 2 июня ГТК не превышал даже 0,29.

Осадков выпало 24 % от нормы, но благодаря высокому весеннему запасу влаги в почве возобновление вегетации зимующих культур и прорастание ячменя шло нормально.

В июне наблюдалась неустойчивая погода преимущественно с повышенной для месяца (особенно второй декады) температурой и пониженной влагообеспеченностью территории. Это создало удовлетворительные условия для культур, используемых в опыте, которые достигли уборочной спелости на неделю раньше многолетних сроков. К моменту скашивания КЛТ 15 июня ГТК достиг 0,41.

Со второй декады июля по вторую декаду августа держалась очень засушливая жаркая погода с очень редкими и кратковременными ливнями. Таким условиям была подвержена промежуточная культура горчица, посеянная 20 июля. Всходы были изреженными, сильно отставали в росте ЗМ, высота травостоя составляла менее 15 см (ГТК 0,23). Ввиду этого не применялась комбайновая уборка ЗМ культуры. Для созревания и уборки ячменя с влажностью ниже стандартной 3 августа такая погода была отличной (ГТК периода вегетации 0,6).

После посева 23 августа озимой ржи до установления постоянного снежного покрова погода стояла тёплая и влажная относительно средних многолетних значений (ГТК 2,51).

В целом агрометеоусловия вегетационного периода с осени 2015 года по осень 2016 года были удовлетворительными для роста и развития традиционных многолетних трав, хорошими для озимой ржи и ярового ячменя и неудовлетворительными для промежуточной поукосной культуры горчицы.

В 2017 году в севообороте №1 возделывались викоовсяная смесь (посев 4 мая, учёт урожая 17 июля, ГТК 2,4) и поукосно горчица (4 августа – 21 сентября ГТК 1,0). В севообороте №2 – яровой ячмень на фуражные цели (4 мая – 21 августа, ГТК 1,9). В севообороте №3 – озимая рожь на зелёный корм (укос 22 июня, ГТК 1,35) и поукосно горчица (17 июля – 21 августа, ГТК 0,95).

Зимовка озимой ржи была недостаточно благоприятная, поскольку постоянный снежный покров установился слишком рано (21 октября 2016 года), а также

из-за повышенной температуры в узле кущения. Всё же, несмотря на сильную заснеженность, ко второй декаде апреля снег сошёл полностью.

Погодные условия мая (Рисунок 5) в основном благоприятствовали качественному проведению комплекса полевых работ при возделывании опытных культур, но мало способствовали их росту и развитию из-за пониженной температуры воздуха.

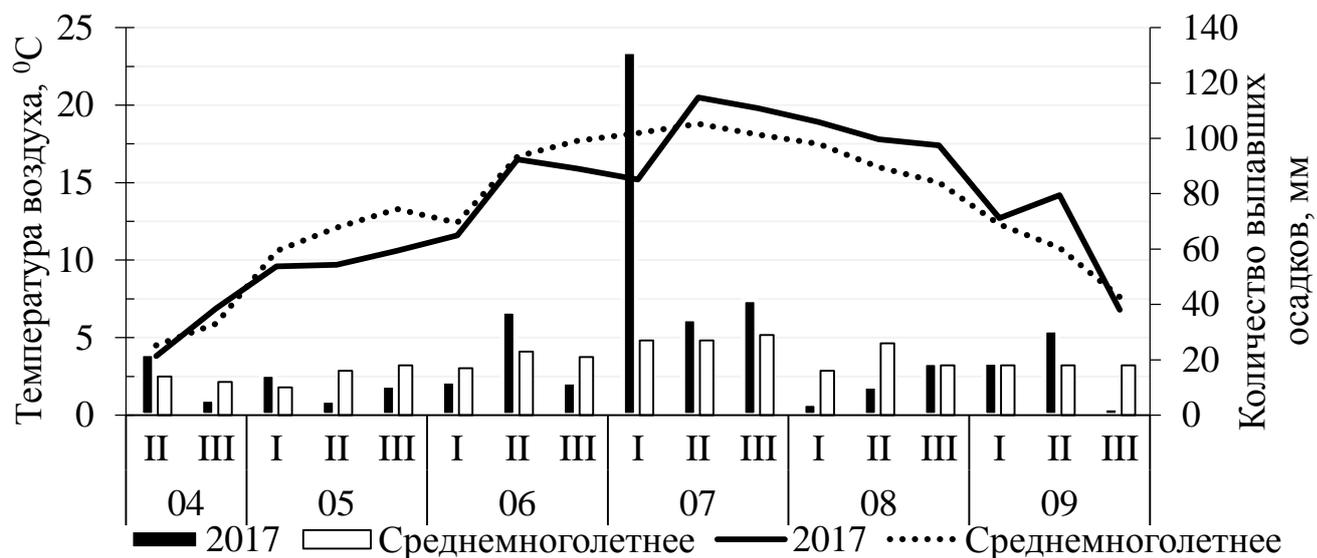


Рисунок 5 – Метеорологические условия вегетационного периода (2017 год)

В последующие два летних месяца количество выпавших осадков в полтора – два раза превышало среднемноголетнюю норму. Также при регулярной облачности неба все травы и ячмень на зерно задержались в развитии на две недели.

Август был на два градуса теплее средних многолетних значений, а количество выпавших осадков находилось на уровне 56% от нормы. Данное обстоятельство способствовало нормализации развития растений, особенно ячменя.

Для самой поздней в опыте промежуточной культуры горчицы август и сентябрь являлись благоприятными для её роста и развития.

В целом агрометеороусловия вегетационного периода 2017 года для культур были хорошими для роста и удовлетворительными для развития традиционных однолетних трав, озимой ржи и ярового ячменя. Для вегетации поукосной горчицы агрометеороусловия были благоприятными.

В 2018 году в севообороте №1 возделывалась смесь вики с овсом и подсолнечником (посев 15 мая, учёт урожая 6 августа, ГТК 1,01). В севообороте №2

– викоовсяная смесь (15 мая – 17 июля, ГТК 1,27) и поукосно горчица (1 августа – 2 октября, ГТК 0,83). В севообороте №3– яровой ячмень на фуражные цели (15 мая – 17 августа, ГТК 0,95).

Таким образом, несмотря на запоздалые посевы относительно предыдущих лет, фазы развития были пройдены быстро. Они были растянуты лишь при поукосном посеве горчицы. В целом же в предыдущие годы ротации даты посева и учёта урожая находились в пределах климатической нормы, кроме 2017 года, поскольку в данный период все сроки сдвинулись на две-три недели.

Метеорологические условия вегетационного периода в 2018 году (Рисунок 6) были малоблагоприятными для поукосной культуры горчицы из-за низкой влагообеспеченности республики в начальные фазы развития. Рост других культур сопровождался существенно повышенной (примерно на $1,5-3^{\circ}$ относительно средних многолетних) температурой почти всё лето и сухой погодой. Однако большие запасы весенней влаги способствовали их быстрому развитию и нормальному росту.

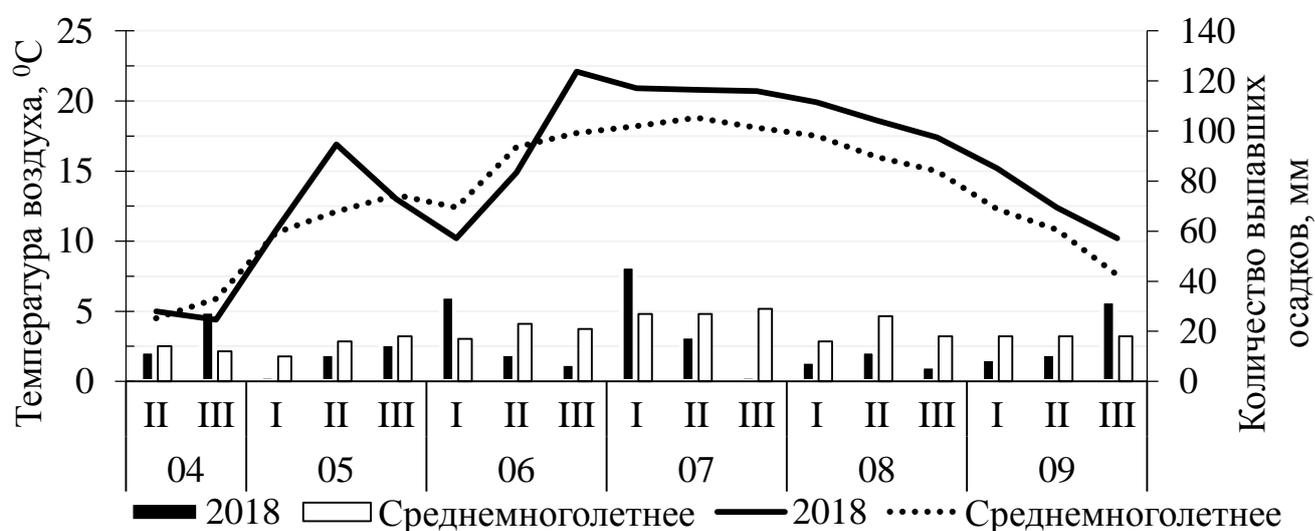


Рисунок 6 – Метеорологические условия вегетационного периода (2018 год)

Согласно же графически представленным гидротермическим коэффициентам вегетационных периодов культур (Рисунок 7), чаще всего угнетались промежуточные посевы горчицы, многолетние травы после первого укоса. Самые засушливые, неблагоприятные условия для культур были в 2016 году.

Таким образом, на рост и развитие сельскохозяйственных культур в севооборотах больше всего сказались периоды значительно повышенной температуры при

низком уровне выпадения осадков. Очень засушливая погода в начале жизни КЛТ в севооборотах в условиях невысокого рН и подпокровного выращивания сильно подавляли в начале тимopheевку, а в период весеннего возобновления роста многолетних трав бобовые компоненты (люцерна и особенно клевер). Вследствие этого клевер почти выпал из смеси. Подобные метеоусловия часто складывались для поукосных посевов горчицы, особенно в 2016 году.

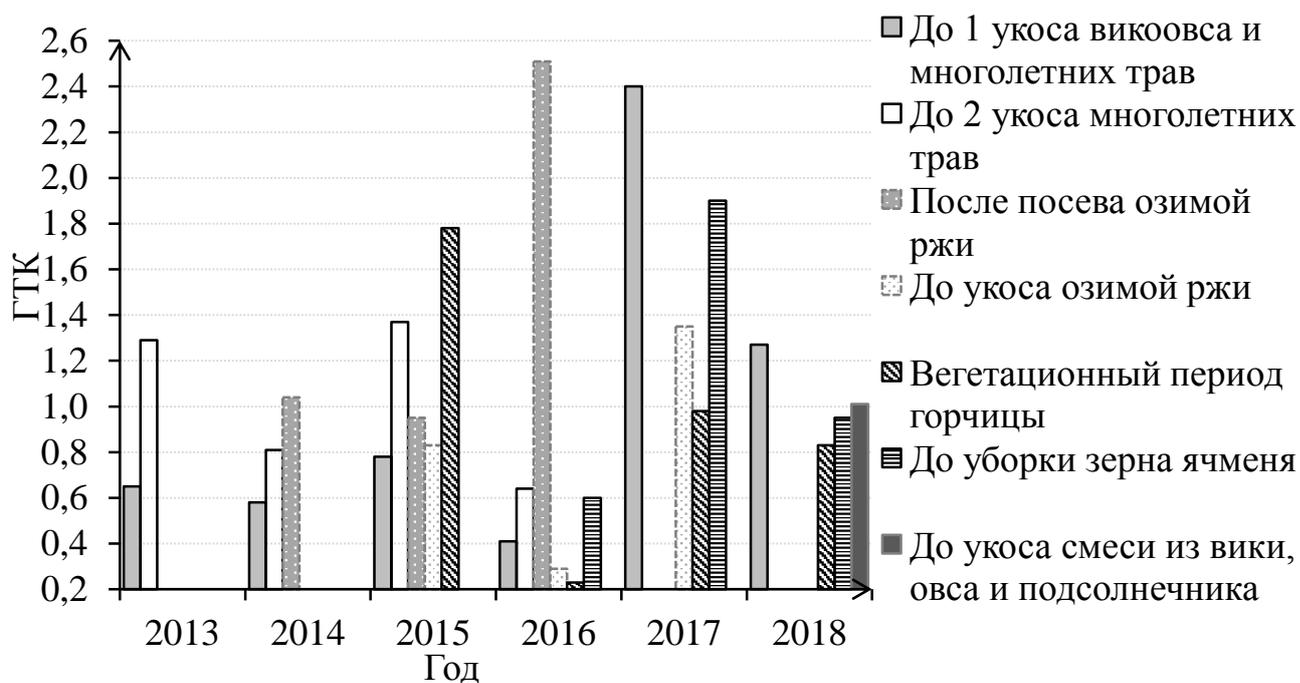


Рисунок 7 – ГТК вегетационных периодов возделывания культур

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Влияние травянозерновых севооборотов на плодородие почвы

3.1.1 Агрохимические характеристики почвы

Систематическое внесение минеральных удобрений с начала закладки опыта (2001 год) позволило улучшить большинство изучаемых агрохимических показателей слоя почвы 0-20 см под шестипольными травянозерновыми кормовыми севооборотами к началу третьей ротации (Таблица 1-6).

Содержание гумуса в почве на начало третьей ротации севооборотов при $N_{90}P_{90}K_{90}$ (B_1) было выше, чем при $N_{60}P_{60}K_{60}$ (B_2), на 0,05-0,11 %, или 2,1-4,9 % в относительном выражении (в отн.). Самое высокое его содержание было в севообороте A_3 с долей многолетних трав $1/2$ (в среднем 2,32 %). Содержание общего азота в почве при B_1 составляло 2,9-3,2 г/кг, фосфора 970-1010 мг/кг и калия 192-200 мг/кг, что в среднем на 26 %, 7,2 % и 3,7 % соответственно выше, чем при B_2 . В севообороте №3 в 2012 году содержание фосфора в почве достигло наивысших значений – 930 мг/кг при A_3B_2 и 1010 мг/кг при A_3B_1 . В данных вариантах его содержание по сравнению с остальными было в среднем на 40 мг/кг почвы больше, чем в других севооборотах. Сумма поглощённых оснований в вариантах находилась на грани между средней и повышенной обеспеченностью почвы (144-159 мг-экв/кг почвы). Почвенная реакция среды в большинстве вариантов была кислой. Слабокислой (рН около 5,1-5,2 ед.) она всё ещё была в вариантах A_1B_2 , A_3B_1 . Подобные значения способствовали различной степени ограничения роста и развития большинства видов растений в севообороте (в порядке убывания): люцерны, клевера, вики, ячменя и подсолнечника.

Таким образом, дерново-подзолистую почву (слой 0-20 см) по основным агрохимическим показателям к началу третьей ротации севооборотов можно было назвать достаточно плодородной для условий Республики Марий Эл.

За шесть лет наблюдений за агрофитоценозами с многолетними бобово-злаковыми травами произошли различные изменения в плодородии почвы (Таблица 2-6, Приложение А-Е). Среди изученных показателей только показатель рН солевой вытяжки оставался в 2018 году с теми же значениями, что и в 2012 году (Таблица 2). Таким образом, ежегодное внесение двойного суперфосфата и хлористого калия за последние шесть лет не способствовало существенному подкислению почвы.

Таблица 2 – Реакция среды в слое почвы 0-20 см (рН соляной вытяжки), 2012-2018 гг.

Фактор А	Фактор В	2012 год	2018 год	Δx
A ₁	B ₁	5,0±0,2	4,9±0,3	-0,1±0,3
	B ₂	5,1±0,2	5,0±0,1	-0,1±0,1
	$\bar{x}(A_1)$	5,1±0,1	5,0±0,1	-0,1±0,1
A ₂	B ₁	5,0±0,1	5,0±0,2	0,0±0,1
	B ₂	5,0±0,2	5,1±0,2	0,1±0,3
	$\bar{x}(A_1)$	5,0±0,1	5,0±0,1	0,1±0,1
A ₃	B ₁	5,2±0,2	5,2±0,2	0,0±0,1
	B ₂	5,0±0,1	5,2±0,2	0,2±0,2
	$\bar{x}(A_1)$	5,1±0,1	5,2±0,1	0,1±0,1
\bar{x}	B ₁	5,1±0,1	5,0±0,1	-0,0±0,1
	B ₂	5,0±0,1	5,1±0,1	0,1±0,1
	\bar{x}	5,1±0,0	5,1±0,1	0,0±0,0
НСР ₀₅ вариантов		H ₀ :d = 0	0,1	H ₀ :d = 0
НСР ₀₅ (А)			0,1	
НСР ₀₅ (В, АВ)		H ₀ :d = 0		

При неизменной системе внесения удобрений (В₂) в течение изучаемого шестилетнего периода продолжалась тенденция повышения содержания гумуса (на 6-8 % в отн., Таблица 3) и общего азота (на 4-13 % в отн., Таблица 4). По массовой доле гумуса определить лучший вариант при схеме внесения В₂ к 2018 году не позволили ни доверительные интервалы по t_{05} , ни НСР₀₅ (0,13 %). В итоге во всех изученных севооборотах при внесении N₆₀P₆₀K₆₀ в течение 18 лет увеличилось содержание гумуса в 0-20 см слое почвы с 1,82 % до 2,31% (на 0,49 %, или в 1,29 раза).

По результатам опытов некоторых исследователей [68; 90; 130], проведённых на дерново-подзолистой почве, рост показателя гумуса при подобных условиях был гораздо ниже. К тому же, приняв во внимание НСР₀₅, можно утверждать, что в 2018 году содержание гумуса в вариантах с внесением азота (В₂) было повышенным, по сравнению с N₀ (В₁), как в каждом из севооборотов на 0,18-0,35 % (НСР₀₅ = 0,13 %), так и в среднем по изученным севооборотам на 0,25 % (НСР₀₅ = 0,08%).

Таблица 3 – Содержание гумуса в слое почвы 0-20 см в 2012-2018 гг., %

Фактор А	Фактор В	2012 год	2018 год	Δх
А ₁	В ₁	2,38±0,08	2,08±0,19	-0,30±0,23
	В ₂	2,29±0,06	2,43±0,14	0,14±0,14
	$\bar{x}(A_1)$	2,34±0,06	2,26±0,18	-0,08±0,23
А ₂	В ₁	2,34±0,15	2,23±0,19	-0,11±0,15
	В ₂	2,23±0,01	2,41±0,08	0,18±0,07
	$\bar{x}(A_2)$	2,29±0,07	2,35±0,11	0,06±0,15
А ₃	В ₁	2,36±0,18	2,21±0,08	-0,15±0,13
	В ₂	2,28±0,08	2,46±0,11	0,18±0,10
	$\bar{x}(A_3)$	2,32±0,07	2,31±0,12	-0,01±0,16
\bar{x}	В ₁	2,36±0,05	2,17±0,07	-0,19±0,08
	В ₂	2,26±0,02	2,43±0,03	0,17±0,03
	\bar{x}	2,31±0,03	2,30±0,07	-0,01±0,09
НСР ₀₅ вариантов		0,09	0,13	0,13
НСР ₀₅ (А)		Н ₀ :d = 0		0,10
НСР ₀₅ (В)		0,05	0,07	0,08
НСР ₀₅ (АВ)		Н ₀ :d = 0		

Наибольшая связь между содержанием гумуса в почве и долей многолетних бобово-злаковых трав в севообороте наблюдалась в 2018 году при исключении азота (В₁), но была несущественной (Рисунок 8).

В результате полного отказа от внесения аммиачной селитры с сокращением доз фосфорно-калийных удобрений до Р₆₀К₆₀ за третью ротацию потеря гумуса в слое почвы 0-20 см изученных агрофитоценозов составила в среднем 0,17 %, или 4,3 т/га в абсолютной массе, которая была максимальной и достоверной в севообороте с 16,7 %-ным насыщением многолетними травами (А₂).

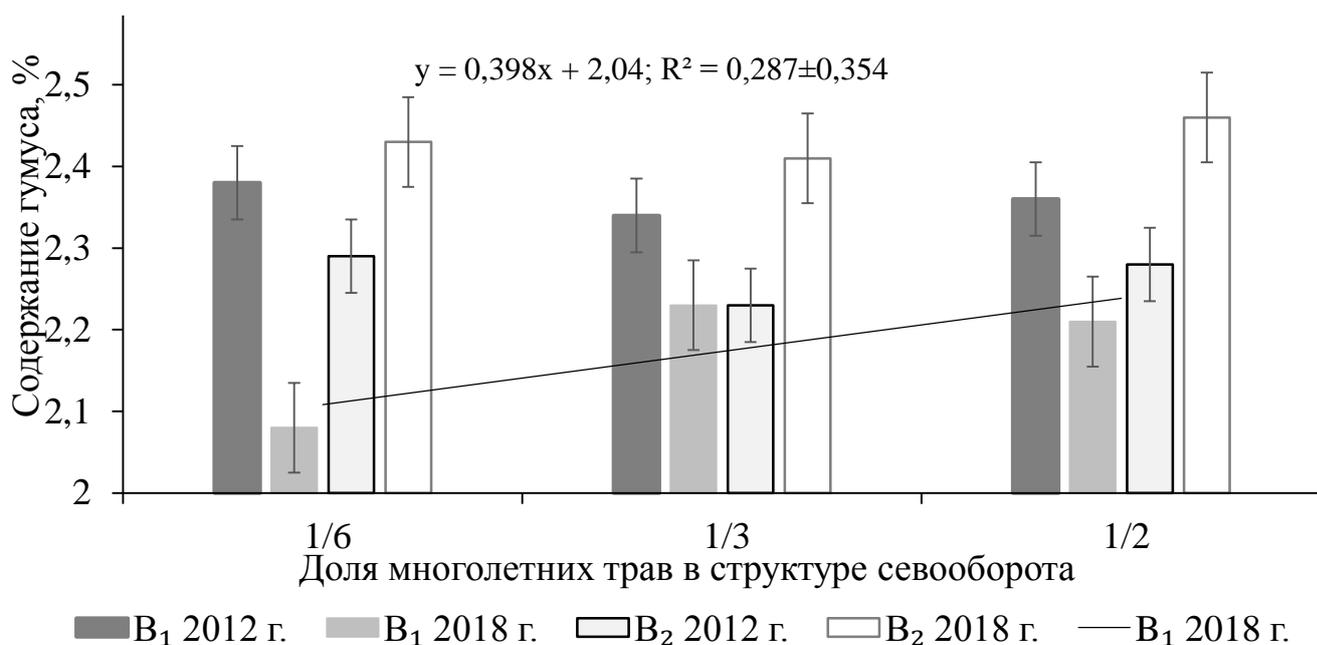


Рисунок 8 – Влияние насыщенности севооборотов многолетними травами на содержание гумуса в слое почвы 0-20 см.

Главное преимущество севооборотам №2 и №3 по изменению содержания гумуса в 0-20 см слое почвы, по сравнению с севооборотом №1, дало более длительное выращивание травосмеси из клевера, люцерны и тимофеевки. Однолетнее использование КЛТ и безазотная система внесения удобрений с сокращением доз РК (A_1B_1) в течение ротации привели к наибольшим потерям данного вещества. Продление вегетации КЛТ до трёх-четырёх лет (A_2B_1 и A_3B_1) способствовало снижению потерь гумуса в 2,0-2,7 раза. Стоит отметить, что при увеличении срока возделывания с трёх (A_2B_1) до четырёх лет (A_3B_1) показатель не повышался существенно ($НСР_{05} = 0,13 \%$), что наблюдалось в исследованиях П.И. Никончика [82]. В итоге, по динамике содержания гумуса за период исследований, почва севооборотов без внесения минерального азота (B_1) в слое 0-20 см стала уступать варианту с N_{60} (B_2) в среднем на 0,36 %, или 5,4 т/га в абсолютной массе. Увеличение содержания питательного вещества при неизменном уровне внесения удобрений (B_2) было одинаковое во всех агрофитоценозах и составило $0,17 \pm 0,03 \%$, или $4,3 \pm 0,8$ т/га в абсолютной массе. Данные изменения также хорошо демонстрирует график (Рисунок 9). На рисунке представлена прямолинейная положительная взаимосвязь содержания гумуса с долей многолетних трав. По шкале Чеддока данная

связь характеризуется как «заметная» (доля вариативности с изучаемым фактором $43,7 \pm 3,0$ %). С увеличением доли многолетних бобово-злаковых трав на $1/6$ потеря гумуса снижается в среднем с $0,27$ % на $0,08$ %, или $0,21$ т/га в абсолютной массе. При доле многолетних трав $1/2$ эта потеря достигает $0,11$ %. Это всё указывает на необходимость внесения минерального азота в севооборотах для повышения содержания гумуса в почве, особенно при высокой доле одно- и двухлетних кормовых культур.

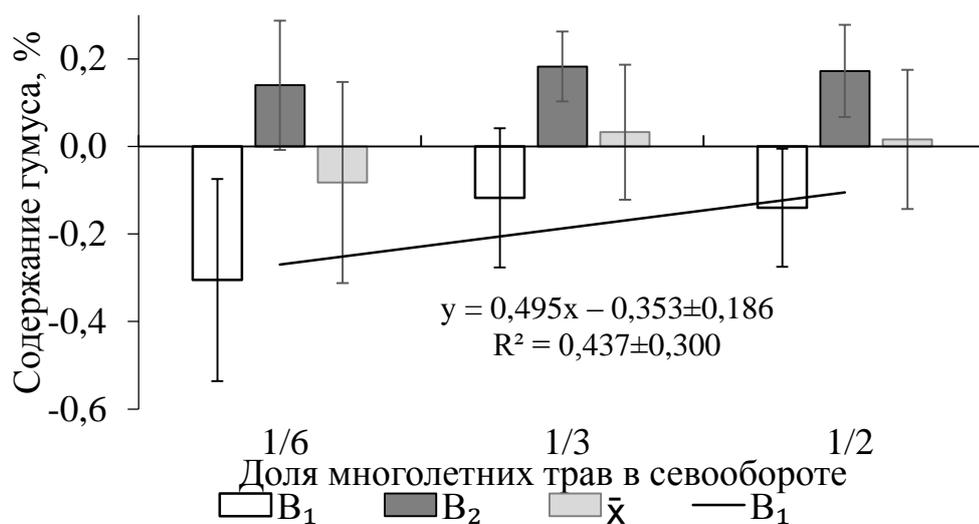


Рисунок 9 – Изменение содержания гумуса в слое почвы 0-20 см за годы исследований, 2012-2018 гг.

За шесть лет содержание общего азота (Таблица 4) в почве изученных агрофитоценозов при схеме внесения B_2 при $НСР_{05} = 0,5$ г/кг ($0,18$ %) повысилось с $2,4$ г/кг незначительно (на $0,2$ г/кг). Содержание элемента из-за больших доверительных интервалов вариантов фактора А находилось на уровне 2012 года. Также можно заметить, что в вариантах опыта без внесения минерального азота (B_1) снижение рассмотренного показателя плодородия почвы терялось по мере насыщения изучаемых севооборотов многолетними бобово-злаковыми травами. При достижении 50% насыщенности севооборотов снижением содержания гумуса стало несущественным.

Потери в содержании общего азота в почве севооборотов №1 и №2 были такими же ($H_0:d=0$), как и в севообороте №3 (в среднем $-0,2$ г/кг). Многолетние травы, с учётом нескольких полей с викой, в опыте были способны восполнять почву азотом в результате биофиксации на уровне варианта с внесением его минеральной

формы в дозе N_{60} . К тому же многолетним травам свойственно ежегодно оставлять в почве большое (относительно других культур) количество органических остатков (источник гумуса и различных питательных элементов).

Таблица 4 – Содержание общего азота в слое почвы 0-20 см, 2012-2018 гг.

Фактор А	Фактор В	2012 год	2018 год	Δx
A_1	B_1	$3,2 \pm 0,1$	$2,3 \pm 0,7$	$-0,9 \pm 0,6$
	B_2	$2,4 \pm 0,0$	$2,5 \pm 0,8$	$0,1 \pm 0,7$
	$\bar{x}(A_1)$	$2,8 \pm 0,4$	$2,4 \pm 0,4$	$-0,4 \pm 0,5$
A_2	B_1	$2,9 \pm 0,0$	$2,1 \pm 0,5$	$-0,8 \pm 0,5$
	B_2	$2,3 \pm 0,3$	$2,6 \pm 0,4$	$0,3 \pm 0,3$
	$\bar{x}(A_2)$	$2,6 \pm 0,3$	$2,4 \pm 0,3$	$-0,2 \pm 0,5$
A_3	B_1	$3,1 \pm 0,2$	$2,8 \pm 0,7$	$-0,3 \pm 0,9$
	B_2	$2,5 \pm 0,2$	$2,8 \pm 0,2$	$0,3 \pm 0,1$
	$\bar{x}(A_3)$	$2,8 \pm 0,3$	$2,8 \pm 0,2$	$0,0 \pm 0,3$
\bar{x}	B_1	$3,1 \pm 0,1$	$2,4 \pm 0,3$	$-0,7 \pm 0,3$
	B_2	$2,4 \pm 0,1$	$2,6 \pm 0,2$	$0,2 \pm 0,2$
	\bar{x}	$2,7 \pm 0,2$	$2,5 \pm 0,2$	$-0,2 \pm 0,2$
НСР ₀₅ вариантов		0,1	$H_0:d = 0$	0,5
НСР ₀₅ (А)		0,1		$H_0:d = 0$
НСР ₀₅ (В)		0,1		0,3
НСР ₀₅ (АВ)		$H_0:d = 0$		$H_0:d = 0$

Согласно корреляционному анализу, наибольшая связь между долей многолетних трав в изученных агрофитоценозах и содержанием азота в почве (вариант B_1 в 2018 году) находилась в пределах ошибки ($H_0:d=0$), поскольку доверительный интервал коэффициента детерминации выходил за пределы положительных значений (Рисунок 10).

Выявленные тенденции хорошо отражались на графическом представлении изменения содержания общего азота в 0-20 см слое почвы в зависимости от насыщенности севооборотов многолетними травами (Рисунок 11). Зависимость между данными показателями при B_1 характеризовалась как заметная по шкале Чеддока. Согласно уравнению, без многолетних трав и азотных удобрений в третью ротацию севооборотов сокращение содержания азота в слое почвы 0-20 см составлял бы

1,17±0,64 г/кг, или 2,93±1,60 т/га в перерасчёте на абсолютную массу. При доле многолетних трав $\frac{1}{6}$ оно достигает в среднем 0,90 г/кг (2,25 т/га в абсолютной массе). В результате с каждым насыщением агрофитоценозов травами на $\frac{1}{6}$ часть снижение содержания элемента возрастает в среднем на 0,17 г/кг, или 0,42 т/га в абсолютной массе, без азотных удобрений – на 0,27 г/кг, или 0,68 т/га в абсолютной массе.

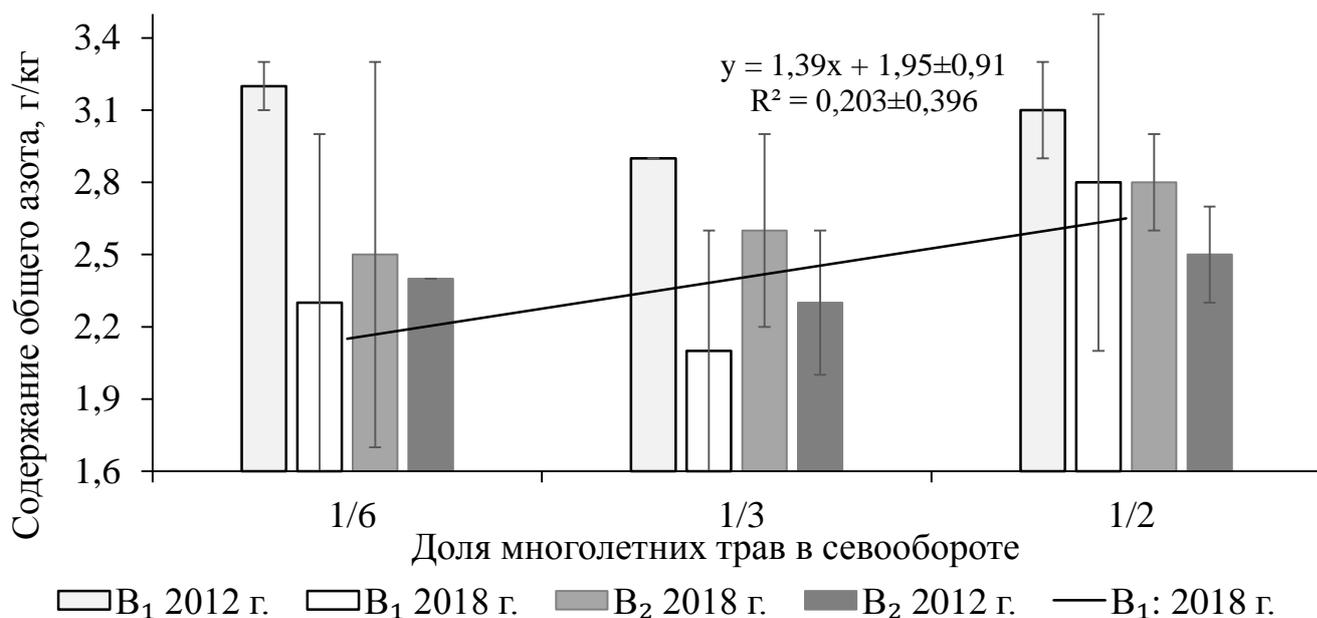


Рисунок 10 – Влияние насыщенности севооборотов многолетними травами на содержание общего азота в слое почвы 0-20 см.

Тем не менее, несмотря на представленные различия между B₂ и B₁ по отношению к общему азоту, их средние значения в 2018 году, согласно НСР₀₅, были одинаковыми – в среднем 2,5 г/кг. В конце 2012 года у данных вариантов взаимосвязь не прослеживалась. При этом уровень доз внесения удобрений существенно влиял на содержание элемента в почве. В севооборотах, где применялись повышенные дозы удобрений (B₁), пахотный слой в среднем на 0,5-0,8 г/кг (20,0-33,3%), был более обогащён азотом (НСР₀₅ (B) = 0,1 г/кг). Таким образом, преимущества варианта B₁, относительно B₂ после отказа от внесения минерального азота в течение последующих шести лет были полностью исчерпаны. При неизменной системе внесения N₆₀P₆₀K₆₀ в эти годы доля азота не снижалась, а увеличилась в среднем на 0,2±0,2 г/кг. В севообороте №3 исключение N₆₀ (A₃B₁) для повышения содержания

элемента питания было целесообразным, поскольку снижение его содержания было несущественным ($-0,3 \pm 0,9$ г/кг).

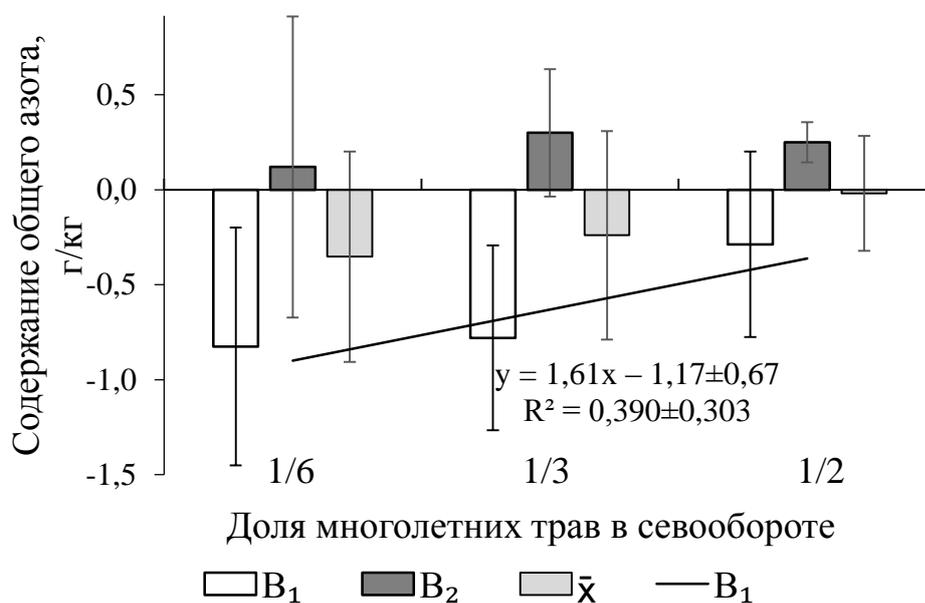


Рисунок 11 – Изменение содержания общего азота в слое почвы 0-20 см за годы исследований, 2012-2018 гг.

В отличие от содержания в почве гумуса и азота, содержание фосфора за шесть лет ни в одном варианте не увеличилось (таблица 5). В севооборотах опыта при исключении азотных удобрений при снижении дозы внесения РК с 90 до 60 кг д.в./га (B₁) концентрация фосфора сократилась в среднем на 9,3-19,8 % (в A₂ разница в пределах ошибки опыта). Согласно различным публикациям [188; 258; 265], одна из причин – способность бобовых растворять почвенный фосфор. К тому же среди всех макроэлементов данный элемент питания в растительных остатках освобождается быстрее всего [177; 246]. При этом его максимальное сокращение было зафиксировано в третьем севообороте. В итоге в слое почвы 0-20 см под агрофитоценозами с 940 ± 20 мг/кг в среднем за 2012-2018 гг. потерялось 90 ± 30 мг/кг ($9,6 \pm 3,2$ %) фосфора, или 225 ± 75 кг/га в абсолютной массе.

Степень влияния доли многолетних трав в структуре севооборотов на динамику содержания фосфора в слое почвы 0-20 см лучше всего отразилась на её графическом представлении (Рисунок 12). Динамика снижения содержания элемента при удобренном фоне (B₂) была несущественной как по линейной связи, так и по

основным криволинейным функциям. Тем не менее, она повлияла на общую тенденцию, в которой прослеживалась связь в средней степени ($R^2 = 0,199 \pm 0,157$). Увеличение насыщенности севооборотов КЛТ сокращало содержание фосфора в почве, главным образом, без внесения азотных удобрений (B_2). Это проявлялось в пределах от заметной до весьма высокой степени связи по шкале Чеддока. Между длительностью использования КЛТ в севообороте при B_2 и сокращением содержанием фосфора степень зависимости составляла 72 ± 14 %. Выведенное уравнение показало, что год продления использования КЛТ в изученных севооборотах снижало содержание питательного элемента на 56 ± 70 мг/кг, а два года – на 113 ± 70 мг/кг при $НСР_{05} = 50$ мг/кг. На фоне N_0 при доле многолетних трав $1/6$ содержание фосфора уменьшалось на 86 мг/кг, а при доле $1/2$ – на 199 мг/кг.

Таблица 5 – Содержание подвижного фосфора в слое почвы 0-20 см, 2012-2018 гг.

Фактор А	Фактор В	2012 год	2018 год	Δx
A_1	B_1	970 ± 10	880 ± 80	-90 ± 60
	B_2	890 ± 60	860 ± 70	-30 ± 100
	$\bar{x}(A_1)$	930 ± 40	870 ± 30	-60 ± 45
A_2	B_1	970 ± 30	820 ± 20	-150 ± 45
	B_2	890 ± 30	850 ± 80	-40 ± 80
	$\bar{x}(A_2)$	930 ± 40	835 ± 30	-95 ± 60
A_3	B_1	1010 ± 90	810 ± 70	-200 ± 70
	B_2	930 ± 30	870 ± 20	-60 ± 50
	$\bar{x}(A_3)$	970 ± 50	840 ± 30	-130 ± 65
\bar{x}	B_1	980 ± 20	840 ± 30	-140 ± 40
	B_2	900 ± 20	860 ± 20	-40 ± 30
	\bar{x}	940 ± 20	850 ± 20	-90 ± 30
НСР ₀₅ вариантов		40	$H_0: d = 0$	60
НСР ₀₅ (А)		30		50
НСР ₀₅ (В)		20		30
НСР ₀₅ (АВ)		$H_0: d = 0$		$H_0: d = 0$

Существенные различия (частных различий и по факторам) по содержанию фосфора наблюдались в 2012 году. Все они перестали проявляться к концу исследований, выровнявшись на уровне 850 ± 20 мг/кг. Это произошло в основном из-за

сокращения применения удобрений в варианте B_1 . В большом количестве накопившийся легкоусвояемый фосфор в результате предыдущих 12 лет внесения в повышенных дозах за последующие шесть лет быстрее терялся вымыванием и больше выносился с урожаем. Наибольшие потери фосфора отмечены в вариантах A_2B_1 и A_3B_1 , составившие в среднем 175 ± 35 мг/кг.

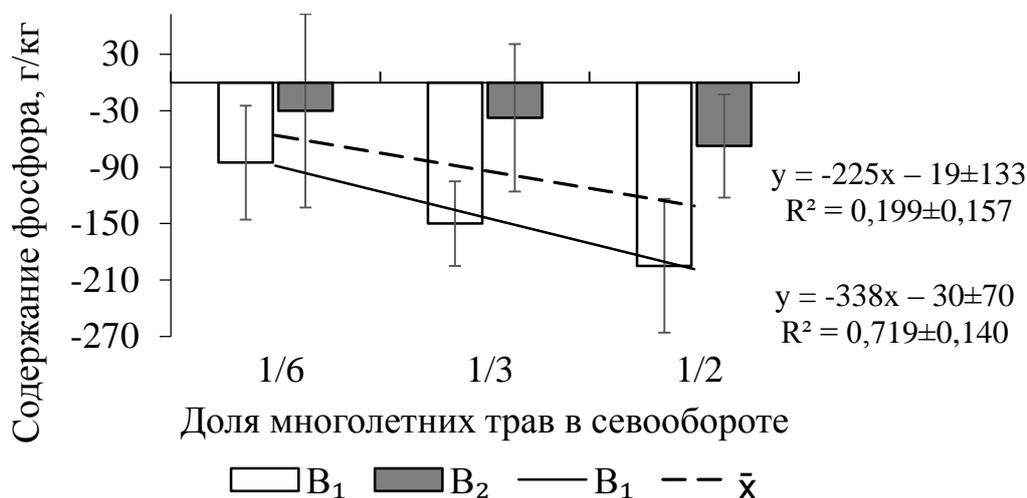


Рисунок 12 – Изменение содержания фосфора в слое почвы 0-20 см за годы исследований, 2012-2018 гг.

В отличие от ранее рассматриваемых агрохимических показателей почвы, содержание фосфора в севооборотах демонстрировало существенные тенденции в зависимости от доли многолетних бобово-злаковых трав (Рисунок 13). Так, к началу эксперимента связь севооборота в формировании содержания фосфора в почве в среднем была заметной как в варианте B_2 ($38,9 \pm 30,3$ %), так и в B_1 ($33,8 \pm 32,9$ %). К концу исследований при неизменных дозах внесения удобрений (B_2) имевшаяся связь полностью рассеялась, а при неудобренном фоне (B_1) стала отрицательной. В варианте B_1 степень влияния доли КЛТ в севообороте на содержание фосфора в почве в среднем была высокой ($46,4 \pm 26,6$ %).

Ежегодное применение калийной соли сопровождалось отрицательной динамикой калия в почве по фактору А (Таблица 6) в севообороте №1 (-19 ± 9 мг/кг), №3 (-24 ± 19 мг/кг). Тем не менее, существенных различий между ними не было ($НСР_{05} = 25$ мг/кг). В севообороте №2 снижение содержания элемента находилось в пределах ошибки опыта. При оценке фактора В в том и другом варианте фикси-

ровались одинаковые потери, которые составляли около -19 ± 7 мг/кг.

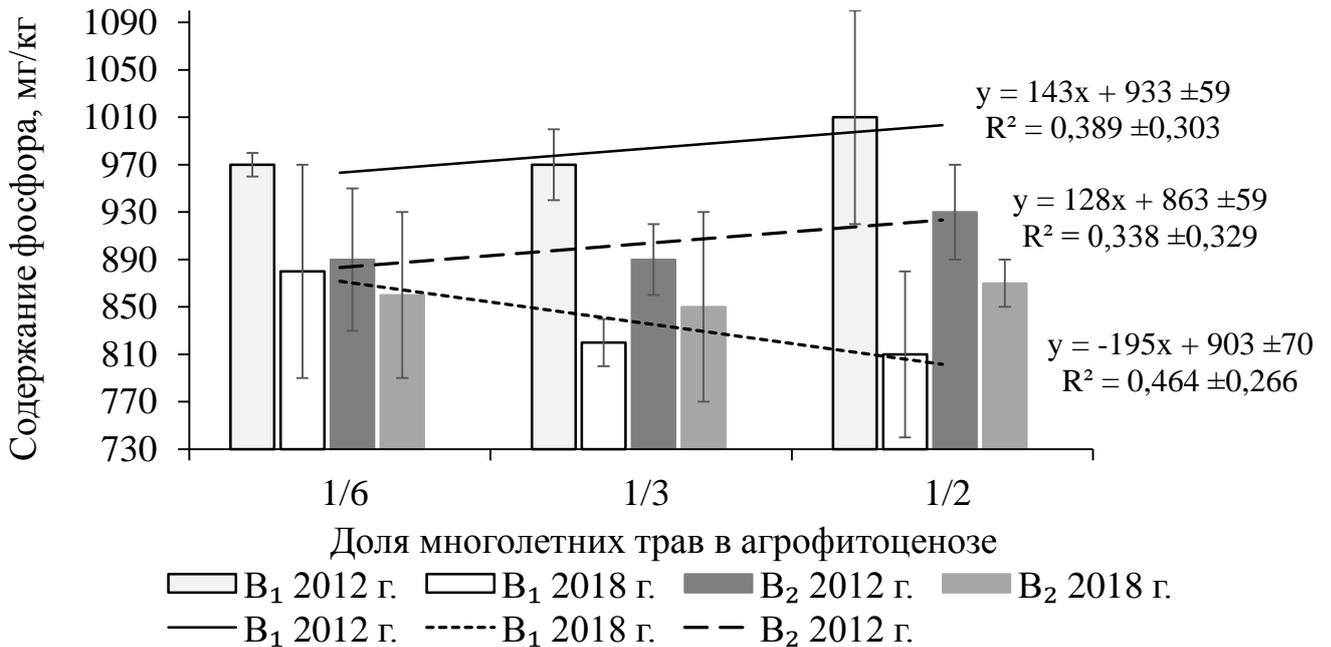


Рисунок 13 – Влияние насыщенности севооборотов многолетними травами на содержание фосфора в слое почвы 0-20 см.

Также не было выявлено существенных тенденций по прямолинейной и основным типам функций (Рисунок 14). Таким образом, схема внесения минеральных удобрений не повлияла на динамику K_2O в почве. В результате шестилетнего выноса элемента её содержание в 0-20 см слое почвы в вариантах составляло 174 ± 5 мг/кг. Высокая обеспеченность растений калием в опыте сохранилась.

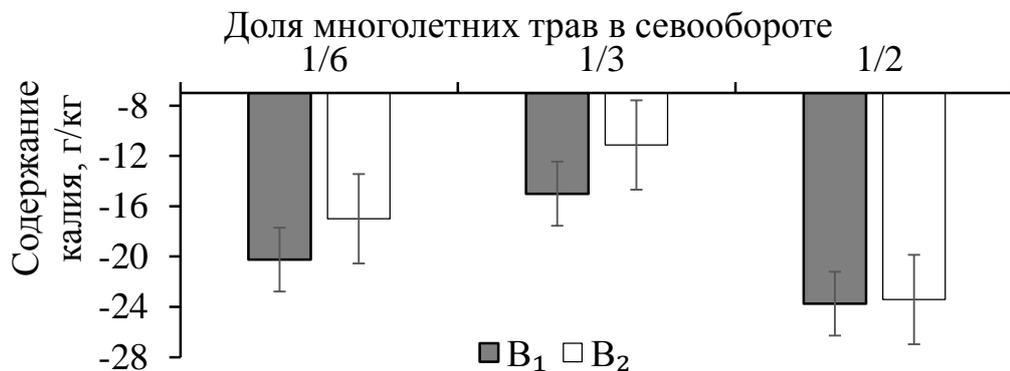


Рисунок 14 – Изменение содержания подвижного калия в слое почвы 0-20 см за годы исследований, 2012-2018 гг.

Согласно графику (Рисунок 15), наибольшая представленная связь между содержанием калия в почве и степенью насыщения изученных агрофитоценозов

многолетними бобово-злаковыми травами была недостоверной на уровне значимости 5 %.

Таблица 6 – Содержание подвижного калия в слое почвы 0-20 см, 2012-2018 гг.

Фактор А	Фактор В	2012 год	2018 год	Δх
А ₁	В ₁	192±13	175±12	-17±22
	В ₂	187±12	167±8	-20±18
	$\bar{x}(A_1)$	190±6	171±8	-19±9
А ₂	В ₁	197±4	186±28	-11±26
	В ₂	185±21	170±20	-15±31
	$\bar{x}(A_2)$	191±9	178±12	-13±13
А ₃	В ₁	200±29	176±24	-24±45
	В ₂	191±23	170±24	-21±40
	$\bar{x}(A_3)$	196±13	173±12	-23±19
\bar{x}	В ₁	196±7	179±9	-17±11
	В ₂	187±7	168±5	-19±11
	\bar{x}	192±5	174±5	-18±7
НСР ₀₅ (вариантов, А, В, АВ)		Н ₀ :d = 0		

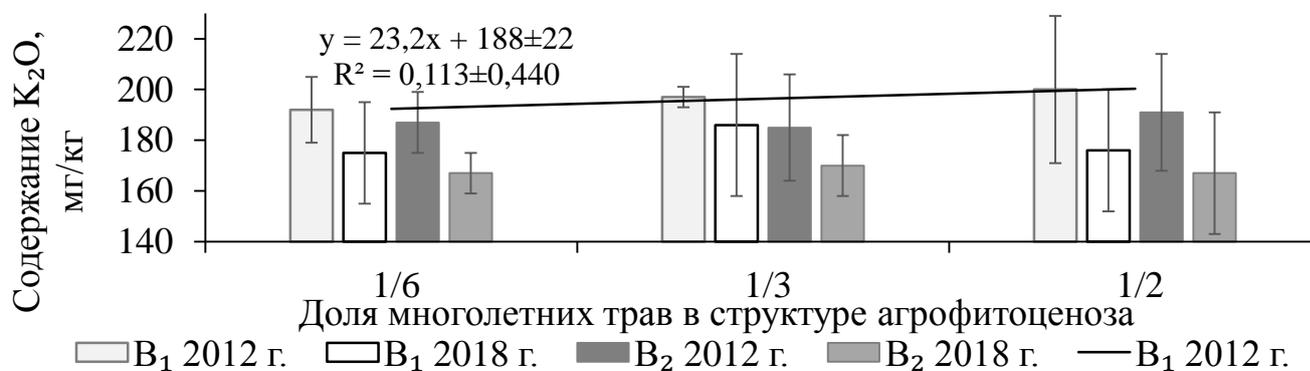


Рисунок 15 – Влияние насыщенности севооборотов многолетними травами на содержание калия в слое почвы 0-20 см.

Таким образом, было установлено, что шестипольный травянозерновой севооборот с однолетним использованием КЛТ (А₁) в третью ротацию в наименьшей степени сохранял или улучшал большинство показателей плодородия 0-20 см слоя дерново-подзолистой почвы. Положительная динамика содержания азота и гумуса наблюдался только в условиях внесения рекомендуемых в Республике доз мине-

ральных удобрений с начала закладки опыта (B_2). Без азотных удобрений (B_1) сокращение содержания азота погашалось с шагом насыщения структуры полей агрофитоценозов многолетними бобово-злаковыми травами в $1/6$ в среднем на 0,37 г/кг. При B_1 продление использования многолетних трав более, чем на один год, уменьшало потерю гумуса в 2,0-2,7 раза. Среди рассмотренных агрохимических показателей, самые большие потери произошли по содержанию P_2O_5 в 175 ± 35 мг/кг (севообороты №2 и №3 без азотных удобрений) и по K_2O в 19 ± 7 мг/кг независимо от вариантов. В севооборотах при B_1 на каждый год продления возделывания КЛТ приходилось сокращение содержания фосфора в среднем на 56 мг/кг. Изученные тенденции изменения плодородия почвы при увеличении количества полей с многолетними травами согласуются с утверждениями многих учёных [10; 63; 64; 86; 114; 145; 149].

3.1.2 Накопление пожнивно-корневых остатков

В последнюю ротацию кормовых севооборотов исключение внесения минерального азота и приведение доз фосфорно-калийных удобрений до рекомендуемых в варианте B_1 не привело к существенно более снижению поступлению питательных веществ с ПКО в почву, чем при B_2 (Таблица 7, Приложение F).

Накопление биомассы запаханых растительных остатков (38,1 т/га) и количество питательных веществ ПКО, поступивших в почву за третью ротацию кормовых севооборотов (651 кг/га азота, 302 кг/га фосфора и 364 кг/га калия), было выше, чем в среднем за три ротации (28,3 т/га; 451, 215, 308 кг/га соответственно). Такой результат стал ожидаемым вследствие повышения общего плодородия почвы к началу третьей ротации и увеличения биомассы корней и стерни. Самое большое количество синтезированной биомассы растительных остатков и заключенных в них элементов питания (на 55-70 %), по сравнению со средними данными, полученными за три ротации [111], отмечено в севообороте №2, где многолетние бобово-злаковые травы использовались два года.

Таблица 7 – Количество элементов питания, поступающих в почву с биомассой запаханных пожнивно-корневых остатков, сумма за 2014-2018 гг.

Фактор А	Фактор В	Сбор сухого вещества, т/га	Элементы питания, кг/га		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
A ₁	B ₁	47,7	827	328	472
	B ₂	52,0	816	314	521
	$\bar{x}(A_1)$	49,9	821	321	496
A ₂	B ₁	42,0	719	359	400
	B ₂	38,5	381	394	426
	$\bar{x}(A_2)$	40,3	775	377	413
A ₃	B ₁	25,3	337	213	191
	B ₂	22,8	374	203	177
	$\bar{x}(A_3)$	24,0	356	208	184
\bar{x}	B ₁	38,3	628	300	354
	B ₂	37,8	674	304	374
	\bar{x}	38,1	651	302	364
НСР ₀₅ вариантов		H ₀ :d = 0	136	H ₀ :d = 0	84
НСР ₀₅ (А)		8,8	107	58	65
НСР ₀₅ (В, АВ)		H ₀ :d = 0			

В первых двух севооборотах (№1 и №2) сумма сухой массы запаханных растительных остатков на 1 га в слое почвы 0-20 см за третью ротацию составила около 45,1 т, общего азота – 798 кг, фосфора – 272 кг, калия – 455 кг. Севооборот №3 уступал №1 и №2 по количеству запаханных ПКО в среднем на 43,8 %, азота – 76,1 %, фосфора – 30,4 %, а калия – 85,7 %. В 30-летних исследованиях П.И. Никончика [82] севообороты с 50 % насыщением многолетними травами оставляли растительных остатков в 1,6 раза меньше, чем при 33 % насыщении (1-2-летнее использование).

Агрофитоценозы в некоторой степени повлияли на количество запахиваемой в почву корне-стерневой массы и поступление с ней азота и калия. Вклад каждой культуры севооборота в формирование органического вещества почвы можно проследить с помощью ежегодного учёта (Таблица 8). В таблице представлены средние значения первых трёх лет запахивания растительных остатков в третьей ротации (только тех культур, которые присутствовали во всех севооборотах).

Таблица 8 – Ежегодное поступление в почву элементов питания с биомассой запаханых пожнивно-корневых остатков, среднее за 2014-2018 гг.

Фактор А	Культура севооборота (год)	Фактор В	Сбор сухого вещества, т/га	Элемент питания, кг/га			
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
А ₁	Клевер + люцерна + тимофеевка (2014)	В ₁	10,6±1,3	227±41	82±17	89±14	
		В ₂	10,5±1,6	200±34	72±12	114±18	
	Рожь, поукосно горчица (2015)	В ₁	8,8±2,7	91±17	45±7	70±5	
		В ₂	10,1±2,1	99±22	52±11	77±18	
	Ячмень (2016)	В ₁	5,6±1,5	70±6	30±4	81±13	
		В ₂	6,8±1,2	76±9	33±2	74±5	
	$\bar{x}(A_1, 2014-2016)$	В ₁	8,3±1,4	129±11	52±7	80±9	
		В ₂	9,1±1,3	125±13	52±6	88±11	
	Вика + овёс, поукосно горчица (2017)	В ₁	8,9±2	241±34	83±14	54±6	
		В ₂	7,2±1,1	212±6	58±7	41±10	
	Вика+овёс+подсолнечник (2018)	В ₁	2,1±0,2	26±5	17±3	45±7	
		В ₂	4,4±1	60±11	27±5	89±17	
	А ₂	Клевер + люцерна + тимофеевка (2014, 2015)	В ₁	8,0±2	188±48	73±7	117±15
			В ₂	10,8±2,4	279±41	104±18	154±14
Рожь, поукосно горчица (2016)		В ₁	16,2±2	240±31	138±20	149±6	
		В ₂	12,0±1,7	229±44	129±12	132±18	
Ячмень (2017)		В ₁	3,8±0,2	55±7	26±2	13±1	
		В ₂	2,0±0,2	47±5	30±2	12±1	
$\bar{x}(A_2, 2014-2017)$		В ₁	9,1±1,3	161±21	79±5	93±6	
		В ₂	8,3±1,1	185±6	88±8	99±11	
Вика + овёс, поукосно горчица (2018)		В ₁	4,7±0,7	74±19	43±8	28±4	
		В ₂	5,5±1,2	91±10	44±3	29±5	
А ₃	Клевер + люцерна + тимофеевка (2014, 2015, 2016)	В ₁	11,2±1,5	153±25	102±10	112±18	
		В ₂	9,7±2,1	146±22	103±15	109±11	
	Рожь, поукосно горчица (2017)	В ₁	9,6±1,2	128±26	69±14	29±6	
		В ₂	9,4±1,4	171±17	70±7	28±4	
	Ячмень (2018)	В ₁	4,5±0,5	56±10	43±7	51±14	
		В ₂	3,7±0,6	58±11	30±7	40±7	
	$\bar{x}(A_3)$	В ₁	8,4±0,7	112±18	71±5	64±13	
		В ₂	7,6±1,1	125±6	68±7	59±1	

Поле с клеверо-люцерно-тимофеечной травосмесью (КЛТ). Количество сухой массы запахиваемых ПКО, сформированной многолетней бобово-злаковой травосмесью, во всех вариантах находилось в пределах 8,0-11,2 т/га (в среднем – 10,5 т/га). Он превышал результаты, полученные при изучении клевера и многолетних трав в Пермском крае, более, чем на 3 т/га [224], клеверо-тимофеечной смеси в Кировской области – на 2 т/га [36; 66], многолетних трав в Республике Беларусь – до двух раз [82], клевера в Кировской области – в три раза [6; 42]. В отличие от утверждений ряда ученых [125; 204], в наших исследованиях не выявлено возрастания массы растительных остатков травосмеси с увеличением срока выращивания многолетних трав.

Количество азота в растительных остатках КЛТ, в отличие от СВ, различалось по изучаемым факторам (агрофитоценоз и удобрения). Во втором севообороте (A_2) при схеме внесения удобрений B_2 в первый год запахивания ПКО в почву поступило самое большое количество азота – 279 кг/га. В данном севообороте (A_2) без внесения минерального азота (B_1) произошло снижение поступления элемента примерно на 48%. На данное изменение повлияла и высокая засорённость посевов (свыше 50% по массе) во втором году пользования многолетних трав, поэтому масса их ПКО уменьшилась. В других севооборотах (A_1 и A_3) по фактору В не было заметных различий по накоплению азота в растительных остатках. При внесении N_{60} двухлетнее использование многолетних бобово-злаковых трав (A_2) превосходило трёхлетнее (A_3) по количеству азота в корнях и стерне в два раза. В третьем севообороте снижение поступления азота ПКО произошло в результате замещения основной культуры травосмеси сорной растительностью на третий год использования травосмеси вследствие засушливых и жарких вегетационных периодов. Подобное наблюдалось при изучении поступления ПКО клеверного травостоя [79; 83], которое снижалось с 10,6-14,7 т/га до двух раз.

Содержание фосфора в ПКО многолетней травосмеси на 1 га пашни было самым низким (72-82 кг) при ее однолетнем (A_1) и двухлетнем использовании, но без внесения минерального азота (A_2B_1). При внесении рекомендуемых доз минеральных удобрений в севообороте №2 (A_2B_2) количество фосфора в растительных

остатках составило около 104 кг/га, в варианте A_3B_2 данного элемента было столько же. Уровень внесения минеральных удобрений в севообороте с трёхлетним использованием КЛТ (A_3) никак не повлиял на содержание P_2O_5 в составе ПКО. Количество K_2O в корнях и стерне травосмеси не превышало уровня 117 кг/га, кроме варианта с азотом в севообороте №2 (A_2B_2) при 154 кг/га.

Таким образом, наибольшее содержание элементов питания запахиваемых растительных остатков травосмеси было получено после её двухлетнего использования при полном внесении минеральных удобрений (A_2B_2).

Поле с озимой рожью и поукосной горчицей. Основная масса ПКО поля состояла из растительных остатков озимой ржи. Доля корне-стерневой массы горчицы в различных вариантах не превышала 40%. Количество СВ запаханного с ПКО находилось в пределах 8,8...12,0 т/га. Только в кормовом севообороте с двумя полями бобово-злаковых трав без внесения азотных удобрений (A_2B_1) отмечено наибольшее количество растительных остатков – 16,2 т/га. Это можно объяснить следующим образом. Самую существенную прибавку корне-стерневой массы в этом поле внесла вынужденная запашка посевов горчицы по причине засушливой (ГТК в период вегетации горчицы в 2016 году 0,2) погоды, повлёкшей за собой невозможность уборки механизированным способом (высота стеблей до 20 см). Таким образом, полю, где выращивалась промежуточная культура (горчица) в качестве сидерата после озимой ржи, позволило выровняться с полем с КЛТ по количеству поступивших ПКО.

Количество элементов питания и сухой массы, в запаханных ПКО из озимой ржи и горчицы было самым высоким в кормовом севообороте №2. Обычно растениям горчицы свойственна высокая концентрация элементов питания, особенно азота и фосфора [247], но в наших исследованиях, как и проведённых в Скандинавии [246], наблюдалась схожая ситуация и по калию. Так, в севообороте №2 в ПКО ржи и горчицы, запаханных в слое почвы 0-20 см, содержалось 229-240 кг N, 129-138 кг P_2O_5 и 132-149 кг K_2O на 1 га пашни – это больше, чем в севообороте №1 примерно в 2,5 раза, №3 – в 1,5 раза (по K_2O – в 5 раз). Их количество существенно не зависело от фактора В (удобрения).

Поле с яровым ячменём. Яровой ячмень на зерно в агроклиматических условиях Республики Марий Эл – культура, после которой редко размещают промежуточные посевы. К тому же после его возделывания обычно остаётся лишь 2-3 т/га сухой массы ПКО [10; 108]. В наших исследованиях в этом поле сформировалось всего 2-7 т/га воздушно-сухой массы ПКО в слое почвы 0-20-см. Самые высокие результаты по накоплению корне-стерневой массы ячменя (5,6-6,8 т/га СВ) получены в севообороте №1 при достаточном весеннем запасе влаги, несмотря на засушливое лето. Количество аккумулированных в растительных остатках ячменя элементов питания, независимо от внесения азота, находилось на уровне: N – 70-76 кг, P₂O₅ – 30-33 кг, K₂O – 74-81 кг на 1 га. В севообороте №3 эти показатели (кроме P₂O₅) были на 20-46% ниже. Вследствие упомянутых выше погодных условий 2017 года в севообороте №2 было сформировано наименьшее количество ПКО ячменя (2,0-3,8 т/га СВ) и содержащегося в них калия (12-13 кг/га). Также стоит отметить, что в севообороте №2 в варианте без внесения азота (A₂B₁) было накоплено в 1,9 раза больше ПКО, чем при внесении полного минерального удобрения (A₂B₂). Ключевую роль в этом сыграло предшествующее поле (озимая рожь + поукосно горчица) с самым большим количеством запаханых в почву растительных остатков по опыту.

Поля с викоовсяной смесью с поукосным посевом горчицы, смесью вики, овса и подсолнечника. Количество воздушно-сухой массы ПКО в поле с викоовсяной смесью в первых двух севооборотах, несмотря на промежуточный посев горчицы, было невысоким (5-9 т/га). Следует отметить, что в благоприятный по метеоусловиям год (2017 год) для данных культур лучше раскрылся потенциал в фиксации бобовым компонентом и аккумулировании горчицей азота. Благодаря этому в почву поступило около 212-241 кг/га элемента. В поле после трёхвидового травостоя в 2018 году (севооборот №1) количество СВ, общего азота и фосфора в остатках было наименьшим, как после ячменя в 2017-2018 гг. (2,0-4,5 т/га, 26-60 кг/га, 17-43 кг/га соответственно). Наличие бобового компонента не дало перед ПКО ячменя преимуществ по содержанию в них азота.

По итогам первых трёх лет запахивания стерни среднегодовое количество сухой массы ПКО между вариантами не имело существенных различий и находилось в пределах 7,6-9,1 т/га. Наибольшее количество питательных элементов с корнями и стерней накапливалось в кормовом севообороте, где КЛТ использовалась два года (А₂). Среднегодовое поступление азота составило 161-185 кг/га, P₂O₅ – 79-88 кг/га, K₂O – 93-99 кг/га. Повышенные показатели отчасти обусловлены использованием горчицы в севообороте №2 в качестве сидерата. Так, поступившее с ПКО количество K₂O в севообороте №2 было на 14% выше, чем в севообороте №1 (в пределах ошибки их средних), азота – на 40% и фосфора – на 60-20%, чем в №1 и №3. В варианте В₁ без внесения азота не наблюдалось существенного снижения количества запахиваемых ПКО за три года исследований. Этого не произошло, во-первых, благодаря восполнению бобово-злаковыми травами азота и гумуса в почве и, во-вторых, из-за последствия минеральных удобрений, внесенных в предыдущие две ротации в повышенных дозах (N₉₀P₉₀K₉₀). В целом различия между представленными трёхгодичными данными были невысокими.

Важно отметить, что по опыту присутствует чёткая прямолинейная зависимость (высокая по шкале Чеддока) между сбором СВ в ЗМ в годы запашки и количеством ежегодного запахивания ПКО (Рисунок 16). Связь пожнивно-корневой массы с количеством наземной биомассы составляла 45-58 %. Согласно полученному уравнению, при увеличении урожайности ЗМ на 1 т/га количество ПКО повышалось на 1,78 т/га. В результате растительные остатки в виде стерни и корней в 0-20 слое почвы в среднем составляли 64,0±4,4 % от общей сухой биомассы.

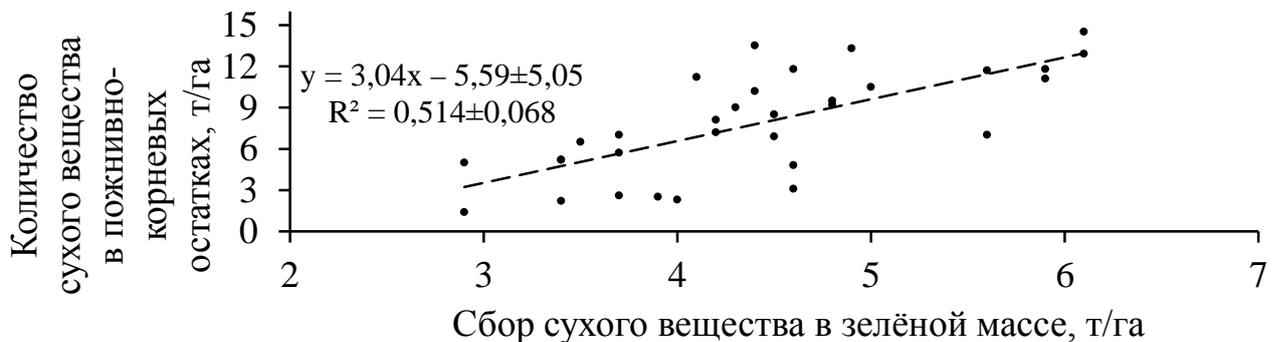


Рисунок 16 – Влияние сбора сухого вещества в зелёной массе на сбор сухого вещества в пожнивно-корневых остатках в годы запашки стерни (2014-2018 гг.)

Согласно данным таблиц 3 и 4, наиболее существенное накопление ПКО в севооборотах отмечено при увеличении числа полей с запашкой стерни.

Таким образом, формирование растительных остатков очень высоко коррелировалось с воздушно-сухой массой убранного урожая. Самое высокое количество питательных элементов, заключённых в ПКО, запахивалось в севообороте с одним-двумя полями КЛТ. Снижение доз внесения удобрений не привело к существенно меньшему поступлению питательных веществ с растительными остатками. В годы поукосного выращивания горчицы после озимой ржи или викоовсяной смеси на 3М количество запахиваемых растительных остатков в среднем за год (9,8 т/га сухого вещества, 115 кг/га азота, 72 кг фосфора и 75 кг калия) было таким же высоким, как и после многолетних бобово-злаковых трав.

3.2 Засорённость кормовых культур

Согласно представленным данным (Рисунок 17), агрофитоценозу многолетнего травостоя в третьей ротации севооборотов был характерен высокий уровень присутствия сорной растительности. На основе 35 публикаций в обзорной статье К.А. Вубее-Финлей и М.Р. Рюан [166] утверждали, что применение смешанных посевов с сопутствующими бобовыми без прополки в сравнении с монокультурой уменьшает биомассу сорняков на 56 % [168]. В среднем за 2013-2016 гг. возделывания КЛТ отмечена одинаковая (46 ± 11 %) доля разнотравья как в общей биомассе без внесения минерального азота, так и при его внесении.

В многолетних травосмесях из бобовых и злаковых культур, если за два-три года первый компонент изреживается или выпадает, то он обычно сменяется более стабильными и долголетними злаковыми. Так минимизируется пространство для сорняков [53; 122; 200]. В условиях Удмуртской Республики опыты показали, что в первый и второй год использования травосмесей на основе клевера и тимофеевки надземная биомасса формировалась в основном за счёт клевера. В третий год доля клевера снизилась до трети [53]. Однако в нашем опыте важные периоды жизни КЛТ сопровождалась очень неблагоприятными климатическими условиями. В

год посева среди многолетних видов сорняков преобладал осот розовый (*Cirsium arvense* L.), а однолетних – просо куриное (*Echinochloa crus-galli* L.). В первый год их использования доля разнотравья в среднем составляла около 36 ± 6 %. Однолетние виды были в значительном меньшинстве. Основные многолетние – это осот розовый, вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.) и одуванчик обыкновенный (*Taraxacum officinale* L.). В последующие годы использования КЛТ всё больше доминировали над остальной посторонней растительностью и культурными компонентами одуванчик и пырей ползучий (*Elytrigia repens* L.). Во второй год использования многолетних трав доля сорняков увеличилась до 59 ± 8 %. В последний год использования разнотравье уже значительно доминировало над культурными видами, достигнув 82 ± 4 %.

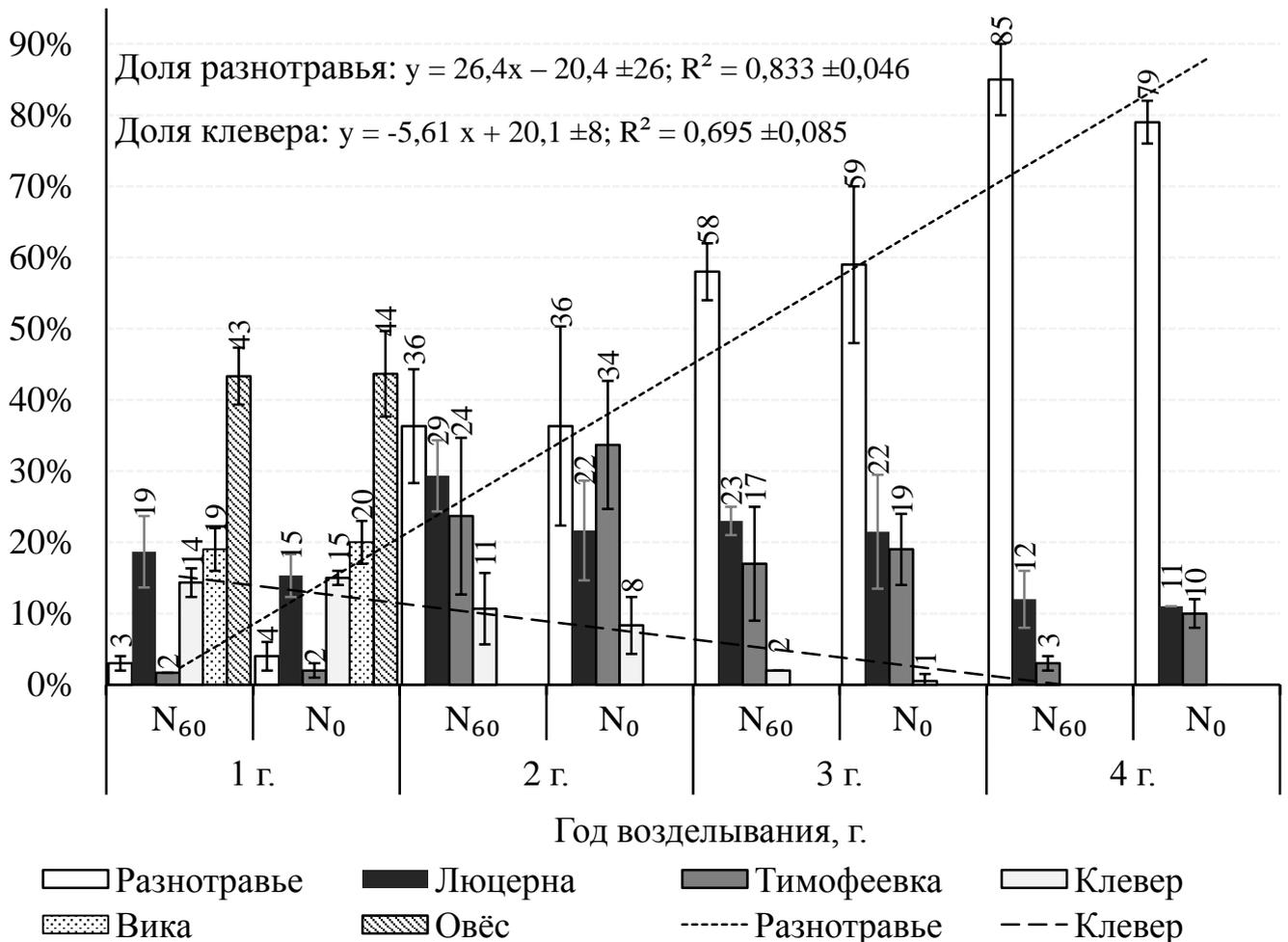


Рисунок 17 – Весовой ботанический состав травосмесей из вики, овса, клевера, люцерны и тимофеевки в севооборотах в зависимости от года возделывания, в % от общей массы, 2013-2016 гг.

Таким образом, согласно изображённому уравнению на графике, в каждый год количество сорных растений увеличивалось в среднем на 26,4 %. Степень влияния года использования КЛТ на сорные растения составляла около 83,3 % («весьма высокая» по шкале Чеддока). Тем временем количество растений клевера лугового в смеси, согласно уравнению ($R^2 = 0,695$), снижалось с 15 ± 1 % в 2013 году в среднем на 5,6 % в каждый последующий год. В предпоследний год жизни смешанных посевов клевер почти полностью выпал (< 2 %), а в последний год растения клевера полностью отсутствовали. Засорённость КЛТ в севообороте №1 с однолетним использованием была не высокой (около 15 ± 6 %), особенно в условиях длительного внесения минерального азота (7 ± 2 %). На относительно повышенную долю культурных видов повлияли количество внесённого минерального азота в предыдущие две ротации и разнообразие культур. Всё же главная причина – это влияние сильной неравномерности и очагового проявления изреженности посевов и засорённости по всему опыту в 2014 году. Она вызвана сильной засухой в период весеннего возобновления роста недостаточно укоренившихся в предыдущий год ещё молодых многолетних трав. Однако опыты De Naas B.R. [et al.] [172], проведённые в Нидерландах, показали, что возделывание рассматриваемых видов вне смесей в подобных условиях способны угнетаться ещё сильнее. В 79 % вариантов из клеверо-злаковых смесей в условиях засухи доля сорных растений в надземной биомассе снижалась в два раза. Это происходило благодаря увеличению количества влияющих признаков и лучшего поглощения ресурсов [172; 259]. Кроме того, внесение азота не сопровождалось повышением доли тимофеевки в травостое, хотя согласно исследованиям [18], азот должен стимулировать рост и развитие, главным образом, злакового компонента.

Ускоренный рост однолетних культурных растений под действием аммиачной селитры способствовал повышению их доминирования над сорной растительностью (Рисунок 18). За все годы наиболее чистыми были посевы озимой ржи (массовая доля сорняков 1-4 %) и викоовсяной смеси (1-5 %). Наиболее засорённые среди однолетних, промежуточные посевы горчицы (в среднем 8 %), сильно реаги-

рующие на влагообеспеченность и температурные условия, показывали схожие результаты лишь в севообороте №1 (3-6 %). В посевах однолетних культур чаще всего встречались куриное просо и полевой вьюнок.

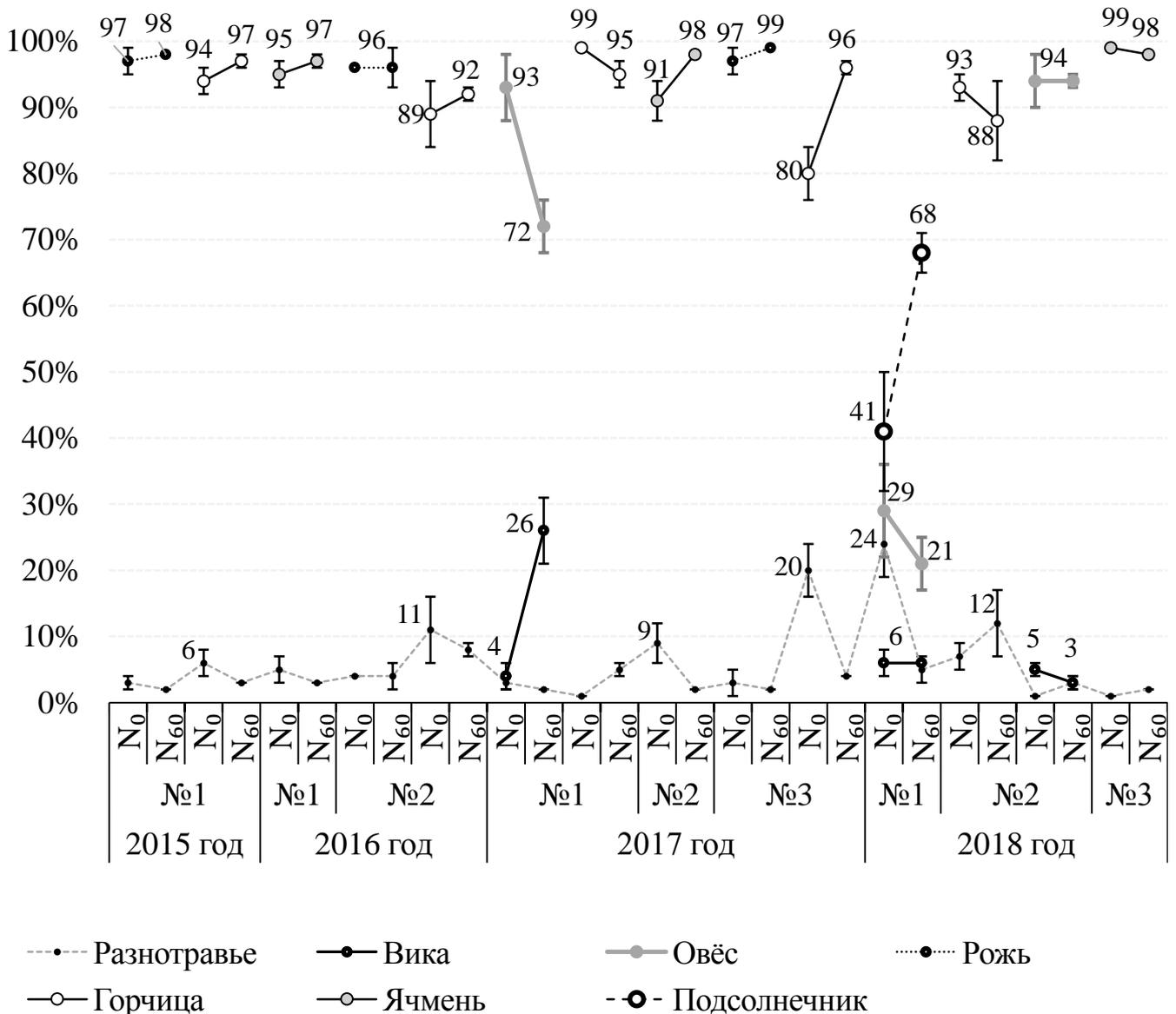


Рисунок 18 – Весовой ботанический состав культур в севооборотах, посеянных после многолетних трав, в % от общей массы.

В год посева травосмесей массовая доля компонентов как многолетних видов, так и вики с овсом была близка к оптимальной. Однако чаще всего растения вики в последующих смешанных посевах формировались слабо. Ограничивающим фактором развития и роста, в отличие от овса, являлась их сильная реакция на засушливость в начале вегетации культуры (ГТК последних декад мая ниже 0,8) в условиях излишней кислотности почвы. Как известно, овёс можно выращивать на

почвах при широком диапазоне кислотности среды (рН 4,5-8,6), температуре 5-26° С и выпадении осадков свыше 500 мм [158; 208].

При этом снижения доли подсолнечника в травосмеси в таких почвенных условиях не было замечено. Данный вид даже доминировал благодаря своей бóльшей выносливости к засухам. Несмотря на невысокий показатель рН почвы, именно это свойство позволило люцерне в травосмеси в меньшей степени, чем клеверу, подвергаться выпадению.

В научных публикациях [15; 124; 139] отмечается, что озимая рожь отличается высокой экологической адаптивностью. Благодаря этому у культуры низкие экономические риски независимо от погодных условий. В засушливые годы её можно считать страховой культурой, что подтверждалось и в нашем опыте. Это позволяло ежегодно формировать посевы с наименьшим количеством сорных растений (1-4 %).

Если усреднить долю разнотравья полей на каждый севооборот, то можно построить соответствующую диаграмму (Рисунок 19). Из нее видно, как выбор агрофитоценоза и схемы внесения минеральных удобрений повлиял на уровень засорённости. Тем не менее, существенное влияние аммиачной селитры было только в варианте А₁. Удобрённый фон здесь имел преимущество над неудо­брен­ным всего в 6,6±6,0 %. Согласно рисунку, за счёт продления периода выращивания смешанного посева из клевера, люцерны и тимофеевки увеличивался общий уровень засорённости травянозернового кормового севооборота. Уравнение, описывающее тенденции её возрастания, имело весьма высокую положительную корреляционную зависимость ($R^2 \approx 0,904$, $r \approx +0,951$) между ними. Каждый год продления использования многолетних трав в севообороте сопровождался значительным повышением количества несеянных трав по массе (на 12,3 %).

В севообороте № 1 изучаемые многолетние бобово-злаковые травы возделывались меньшее время, чем в других севооборотах. Благодаря этому в данном варианте средняя доля ЗМ разнотравья составляла в пределах 4,0-10,6 %. Согласно расчёту по представленному уравнению, её значение около 8,3 %. Это наименьшая засорённость в опыте. Севообороты № 2 и №3 превышали севооборот №1 по доле посторонней растительности в собранном урожае соответственно 3,1 и 4,4 кратно,

или 2,5 и 4,0кратно по уравнению. Повышения засорённости КЛТ по мере продления срока их использования культуры севооборота №3 в среднем характеризовались наибольшей долей разнотравья (в пределах 28,9-34,8 %, или около 32,9 % по уравнению).

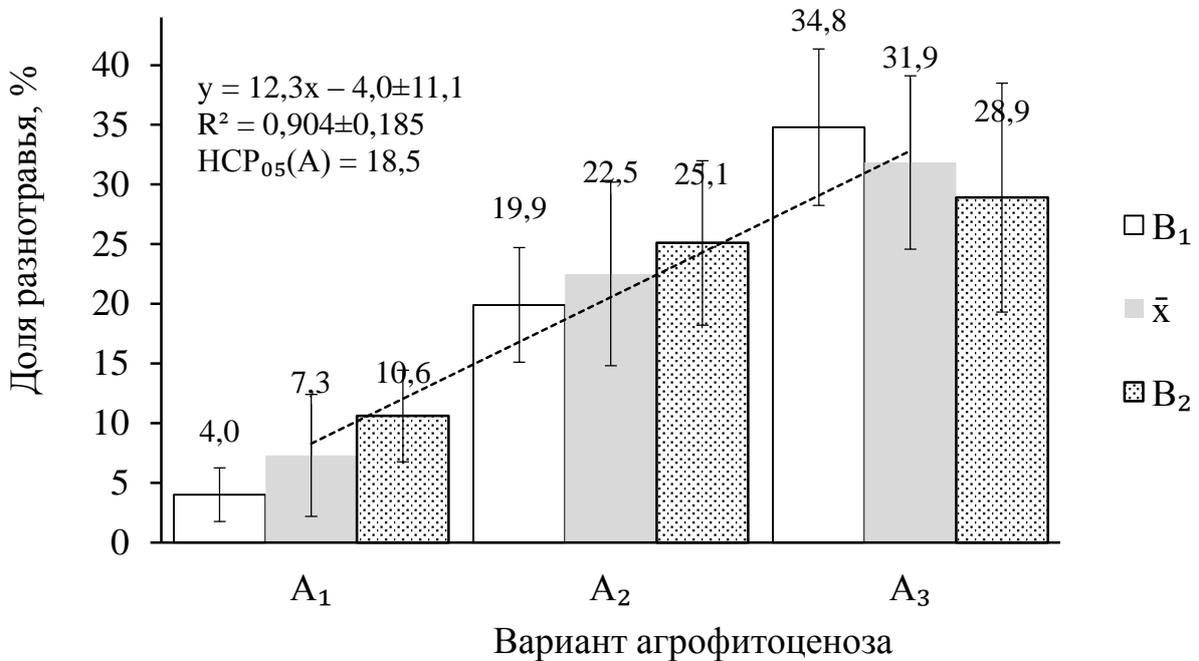


Рисунок 19 – Массовая доля сорной растительности в зависимости от вида севооборота и схемы минеральных удобрений, 2013-2018 гг.

Динамика засорённости культур в вариантах лучше всего прослеживается через графическое представление в рисунке 20.

Из графика видно, что в 2014 году ввиду сложившихся малоблагоприятных метеорологических условий доля разнотравья увеличивалась во всех травосмесях. Сокращение длительности возделывания смешанных посевов из клевера, люцерны и тимофеевки в севообороте предотвращало дальнейшее разрастание сорной растительности и её пагубное влияние на общий уровень показателя в севообороте. В результате приемлемое количество несеяных трав во всех севооборотах наблюдалось лишь в последние два года ротации. Таким образом, изучаемый показатель в севообороте №1 характеризовался наибольшей стабильностью. Здесь коэффициент вариации очень высокий (79,5 %), но гораздо ниже, чем у севооборота №2 (117,3 %) или №3 (105,9 %). Подобные результаты могут стать ещё

одним сильным препятствием при дальнейшем планировании урожая, основанного на данных ботанического состава.

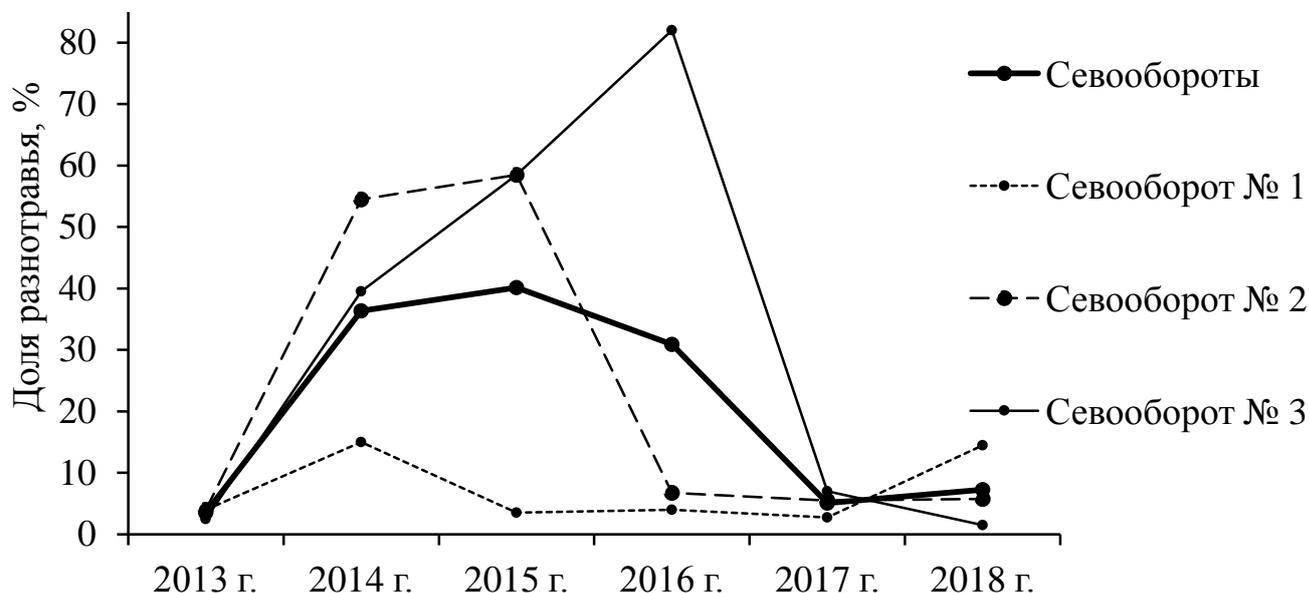


Рисунок 20 – Среднегодовая динамика массовой доли сорной растительности в изученных севооборотах, 2013-2018 гг.

Метеорологические условия вегетационных периодов культур зерноотрава-ных агрофитоценозов оказывали сильное влияние на их ботанический состав. В течение третьей ротации изученных севооборотов виды с лучшей засухоустойчивостью (подсолнечник, озимая рожь, люцерна и ячмень 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. В результате клеверо-люцерно-тимофеечная травосмесь замещалась разнотравьем, в основном из вьюнка полевого и проса куриного. Показатель массовой доли сорняков, составляющий 36 ± 6 % в первый год пользования смеси во всех изученных севооборотах, с каждым годом увеличивался с шагом в 26 %. Без внесения в почву минерального азота культурные компоненты одно-двухлетнего травостоя быстрее замещались несеянными травами. Как следствие, посе-вы севооборота с наиболее богатым плодосменом характеризовались наименьшей засорённостью (массовая доля разнотравья 4,0-10,6 %).

3.3 Характеристики урожая культур в севооборотах

3.3.1 Урожайность зелёной массы и зерна

Наиболее выраженное в опыте преимущество двухразового в течение года скашивания трав отмечено при использовании смешанного посева из клевера, люцерны и тимофеевки (Таблица 9). Отсутствие повторного скашивания в периоды вегетации 2014 и 2015 гг. снижало общий сбор ЗМ в 1,6-2,2 раза. В итоге средний уровень суммарного за год количества надземной биомассы КЛТ в покрове с викоовсяной травосмесью составил $15,4 \pm 1,0$ т/га (Таблица). При двуукосном использовании данная величина была выше в среднем на 2,2 т/га, или 14,2 % в отн. ($17,6 \pm 0,9$ т/га).

В.А. Сысуев и В.А. Фигурин [118] считают, что тройным травосмесям из двух бобовых влаголюбивых (например, клевер луговой) и засухоустойчивых культур (люцерна на слабокислых почвах) и одного злакового компонента свойственна высокая устойчивость к изменяющимся погодным условиям. Засушливые условия повлияли на развитие трав через несколько недель после весеннего возобновления роста и в большинстве месячных декад лета 2014 года. Это и стало причиной низкой урожайности многолетних трав. Ещё ниже была их надземная биомасса во втором укосе, в первую очередь, в севообороте №2 (в два раза) и в севообороте №3 (в 1,4 раза).

Зелёной массе со второго укоса свойственно формировать меньшую, по отношению к первой, урожайность, что можно наблюдать в некоторых исследованиях [93]. В третий и четвёртый годы жизни КЛТ отмечали высокую для региона количество осадков по отношению к сумме активных температур. Это позволяло к первому укосу травостоя формировать в среднем на 33 % выше урожайность ЗМ, чем в 2014 году, и на 84 % – в 2013 году. В результате к 1 укосе КЛТ в покрове с викоовсяной смесью за годы исследований формировалось в среднем $9,8 \pm 0,7$ т/га травостоя, что выше, чем ко 2 укосе ($8,5 \pm 0,7$ т/га) на $1,30 \pm 1,1$ т/га, или $15,3 \pm 12,9\%$.

Таблица 9 – Урожайность зелёной массы викоовсяной и клеверо-люцерно-тимофеечной травосмеси в севооборотах, т/га

Фактор А	Фактор В	2013 г.			2014 г.			2015 г.			2016 г.	Средняя за 2013-2014 гг.		
		1 укос	2 укос	Всего	1 укос	2 укос	Всего	1 укос	2 укос	Всего	1 укос	1 укос	2 укос	Всего
А ₁	В ₁	6,2±1,8	10,7±2,2	16,9±2,2	9,0±1,9	—	9,0±1,9	—	—	—	—	7,6±1,6	10,7±2,3	12,9±3,9
	В ₂	6,7±1,8	11,4±3,2	18,1±2,7	10,4±2,0		10,4±2,0					8,5±2,0	11,4±3,2	14,2±3,9
	$\bar{x}(A_1)$	6,5±0,8	11,1±1,2	17,5±1,2	9,7±1,1		9,7±1,1					8,1±1,1	11,1±1,3	13,6±2,3
А ₂	В ₁	6,4±1,1	10,1±2,7	16,5±3,1	10,9±2,9	4,0±1,27	14,9±3,5	9,2±3,4	—	9,2±3,4	—	8,8±1,6	7,1±3,1	13,5±2,4
	В ₂	6,6±1,7	10,8±3,7	17,4±4,6	7,2±3,0	5,0±2,1	12,2±3,1	13,0±3,2		13,0±3,2		9,0±2,2	7,9±3,1	14,2±2,1
	$\bar{x}(A_2)$	6,5±0,6	10,4±1,5	16,9±1,8	9,0±2,2	4,5±0,9	13,5±2,2	11,1±2,3		11,1±2,3		8,9±1,5	7,5±1,8	13,9±1,9
А ₃	В ₁	7,5±4,3	9,1±4,8	16,6±1,9	9,8±1,4	7,1±0,6	17,0±2,7	14,2±4,3	8,8±2,5	23,1±2,0	12,8±4,8	11,1±1,8	8,3±1,2	17,4±2,2
	В ₂	8,0±2,2	10,2±3,7	18,2±3,8	10,1±3,3	7,2±2,7	17,3±3,9	15,9±4,0	7,2±3,2	23,1±3,1	11,7±4,9	11,4±1,9	8,2±1,5	17,6±2,5
	$\bar{x}(A_3)$	7,7±1,5	9,6±2,0	17,4±1,5	10,0±1,1	7,2±0,9	17,1±1,0	15,1±2,0	8,0±1,5	23,1±1,1	12,3±2,2	11,3±1,2	8,3±0,9	17,5±1,6
\bar{x}	В ₁	6,7±1,0	10,0±1,2	16,7±2,0	9,9±0,9	5,6±1,6	13,6±2,5	11,7±3,0	8,8±2,5	16,1±4,1	12,8±4,8	9,6±1,0	6,4±1,1	15,1±1,5
	В ₂	7,1±0,7	10,8±1,2	17,9±1,6	9,2±1,3	6,1±1,5	13,3±2,3	14,5±2,1	7,2±3,2	18,0±5,5	11,7±4,9	10,0±1,1	8,6±1,1	15,7±1,4
	\bar{x}	6,9±0,5	10,4±0,8	17,3±1,3	9,6±0,7	5,9±0,9	15,4±1,6	13,1±1,7	8,0±1,5	17,1±3,1	12,3±2,2	9,8±0,7	8,5±0,7	15,4±1,0
НСР ₀₅ вариантов		H ₀ :d = 0			2,0	1,3	2,1	2,7	H ₀ :d = 0	2,1	H ₀ :d = 0	1,0	1,9	1,0
НСР ₀₅ (А)					H ₀ :d = 0	0,9	1,6	2,0		1,6	0,7	1,5	0,8	
НСР ₀₅ (В)						H ₀ :d = 0	H ₀ :d = 0			2,0	H ₀ :d = 0	H ₀ :d = 0	1,1	H ₀ :d = 0
НСР ₀₅ (АВ)					1,2		H ₀ :d = 0			H ₀ :d = 0			H ₀ :d = 0	

Согласно мета-анализу 1015 исследований A.J. Ashworth, [et al.] [201], добавление в злаковый травостой бобового компонента без азотных удобрений сопровождается наибольшим коэффициентом отзывчивости (66 %). Это позволяет существенно снизить дозы внесения минерального азота [34]. Количество общей надземной биомассы однолетних и многолетних бобово-злаковых трав в изученных севооборотах, в частных случаях и в среднем за весь изученный период, существенно не зависело от схемы внесения минеральных удобрений. Основные потери надземной биомассы на вариантах без внесения минеральных удобрений проявлялись в виде тенденций в первые укосы второго года использования КЛТ, составляли $2,8 \pm 3,7$ т/га, или $23,9 \pm 31,6$ %. Главной причиной столь высоких стандартных ошибок средних на 5 % уровне значимости являлась сильная изреженность посевов, которая проявлялась в виде очагов.

На урожайность ЗМ бобово-злаковой травосмеси некоторое (с долей вариации в 35,8-56,8 %) влияние оказывала уровень влагообеспеченности опытного участка (Рисунок 21). Также следует указать, что положительная связь между ними прослеживалась только при внесении N_{60} . Согласно уравнению, представленному на рисунке, при ГТК = 0-0,26 может не формироваться травостой, предназначенный для механизированной уборки. Тем не менее, данное уравнение покрывает относительно небольшой диапазон ГТК. Поэтому им невозможно смоделировать все минимумы и максимум лимитирующего фактора (ГТК).

В итоге больше всего ЗМ отмечено в севообороте A_3 за 2015 год. За два укоса здесь её было собрано 23,1 т/га. Это значение в варианте было выше на $5,8 \pm 1,9$ т/га ($33,8 \pm 11,0$ %), чем в предыдущие годы эксперимента. Преимущество культуры в A_3 в 2015 году над остальными вариантами с двухукосным использованием КЛТ составляло в среднем 5,6-9,5 т/га (31,7-70,3 %) в зависимости от года возделывания и севооборота. При достаточной влагообеспеченности урожайность биомассы многолетних агрофитоценозов из-за низкой скорости развития в первый год жизни обычно не превышает 30-40 % от последующих лет [26]. Изреженность посевов, возникшая в результате засушливых периодов в критические моменты жизни трав, и последующая замещённость культурных растений сорными

в годы использования смешанных посевов из клевера, люцерны и тимофеевки стала причиной формирования низкого урожая ЗМ.

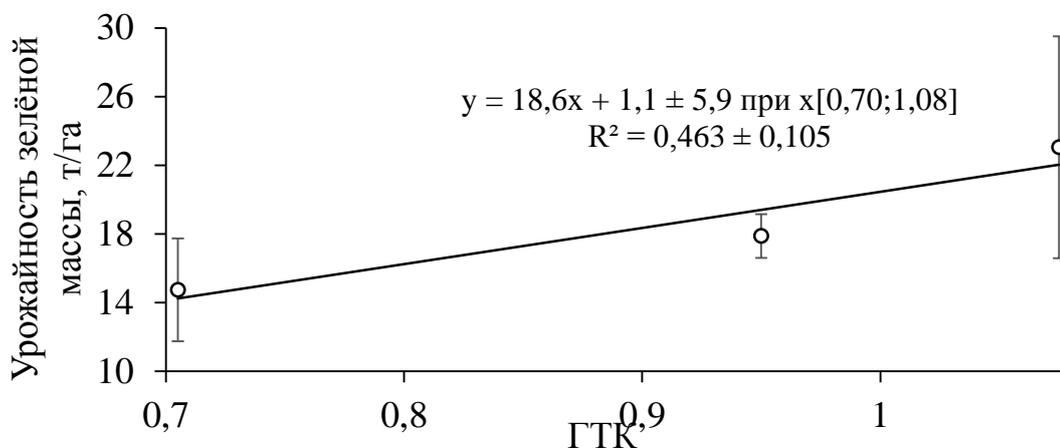


Рисунок 21 – Влияние ГТК на урожайность зелёной массы травосмеси из клевера, люцерны и тимофеевки под покровом викоовсяной смеси (N₆₀), 2013-2015 гг.

Наибольшая в опыте надземная биомасса одно-двулетних трав, возделываемых после КЛТ (Таблица 10-12), за весь изучаемый период получена у основной культуры (в среднем от 6,6 до 18,7 т/га). Доля ЗМ первого укоса в общем урожае (при наличии второго и независимо от схемы внесения удобрений) у викоовсяной травосмеси составляла около 59,3 % и ещё больше (68,5 %) – у озимой ржи. На нормальную влагообеспеченность территории 2018 года (ГТК 1,27), по сравнению с повышенной в 2017 году (ГТК 2,40), среагировали вика и овёс. В 2018 году (вариант А₂) сбор их ЗМ составил всего 7,6±1,3 т/га, что ниже результатов предыдущего года (вариант А₁) в среднем на 5,5±2,6 т/га (71,8±34,2 %).

Замечено, что урожайность травосмеси существенно выросла после достижения ГТК около 1,3 (Рисунок 22). В результате общая надземная биомасса викоовсяной смеси даже вместе с поукосной культурой (А₂) при ГТК 1,3 составляла всего 12,6±1,7 т/га. График показал высокую отзывчивость культуры на увеличение влагообеспеченности территории, доля которой в формировании ЗМ составила 63,4-70,4 %. По результатам 2018 года включение в травосмесь засухоустойчивого подсолнечника (А₁) по величине полученной биомассы, составившей 13,4±2,2 т/га, было равноценно применению промежуточной культуры горчицы (А₂).

Таблица 10 – Урожайность зелёной массы озимой ржи и поукосного посева горчицы в севооборотах, т/га

Фактор А	Фактор В	Озимая рожь	Горчица	Всего
А ₁ (2015 год)	В ₁	12,6±3,2	6,6±1,3	19,2±3,3
	В ₂	18,7±2,2	6,9±2,5	25,6±2,5
	$\bar{x}(A_1)$	15,7±3,1	6,7±0,8	22,4±3,3
	НСР ₀₅	4,6	1,9	3,6
А ₂ (2016 год)	В ₁	14,9±0,8	0	14,9±0,8
	В ₂	17,5±1,9		17,5±1,9
	$\bar{x}(A_2)$	16,2±1,3		16,2±1,3
	НСР ₀₅	1,8		1,8
А ₃ (2017 год)	В ₁	12,2±1,5	6,4±2,7	18,6±3,2
	В ₂	16,4±3,2	7,6±3,3	24,0±1,5
	$\bar{x}(A_3)$	14,3±2,3	7,0±1,4	21,3±2,7
	НСР ₀₅	2,9	2,9	1,6
\bar{x}	В ₁	13,2±1,1	4,3±2,2	17,6±1,6
	В ₂	17,5±1,0	4,8±2,5	22,4±2,5
	\bar{x}	15,4±1,1	4,6±1,4	20,0±1,7
	НСР ₀₅	0,9	1,1	1,4

Таблица 11 – Урожайность зелёной массы викоовсяной смеси и поукосного посева горчицы в севооборотах, т/га

Фактор А	Фактор В	Вика+овёс	Горчица	Всего
А ₁ (2017 год)	В ₁	12,2±3,3	8,6±1,2	20,8±4,1
	В ₂	14,0±5,7	9,8±2,9	23,7±3,1
	$\bar{x}(A_1)$	13,1±2,2	9,2±1,1	22,3±1,9
	НСР ₀₅	5,9	3,0	3,0
А ₂ (2018 год)	В ₁	6,6±1,7	4,6±0,9	11,1±2,3
	В ₂	8,7±2,4	5,4±0,5	14,1±2,1
	$\bar{x}(A_2)$	7,6±1,3	5,0±0,5	12,6±1,7
	НСР ₀₅	2,2	0,8	2,8
\bar{x}	В ₁	9,4±2,9	6,6±2,0	16,0±4,8
	В ₂	11,3±3,2	7,6±2,3	18,9±4,7
	\bar{x}	10,4±1,9	7,1±1,3	17,5±2,9
	НСР ₀₅	4,0	1,4	2,6

Таблица 12 – Урожайность зелёной массы смеси из вики, овса и подсолнечника в севооборотах, т/га, 2018 гг.

Фактор В	B_1	B_2	\bar{x}
$НСР_{05} = 6,4$	$12,1 \pm 3,8$	$14,7 \pm 4,4$	$13,4 \pm 2,2$

Благодаря весеннему запасу почвенной влаги озимая рожь в опыте давала наиболее высокий, не менее $12,2 \pm 1,5$ т/га при среднем уровне $15,4 \pm 1,1$ т/га, урожайность зелёных кормов. Исследователи отмечают у ржи высокую экологическую адаптивность, стабильную продуктивность независимо от погодных условий [15]. По этой причине на культуру ГТК существенно не влиял. Несмотря на очень низкий уровень влагообеспеченности территории в весенне-летнего вегетационного период 2016 года (ГТК всего 0,29), урожайность ЗМ культуры была такая же, как и в годы с пониженным (2015 год) и оптимальным ГТК (2017 год).

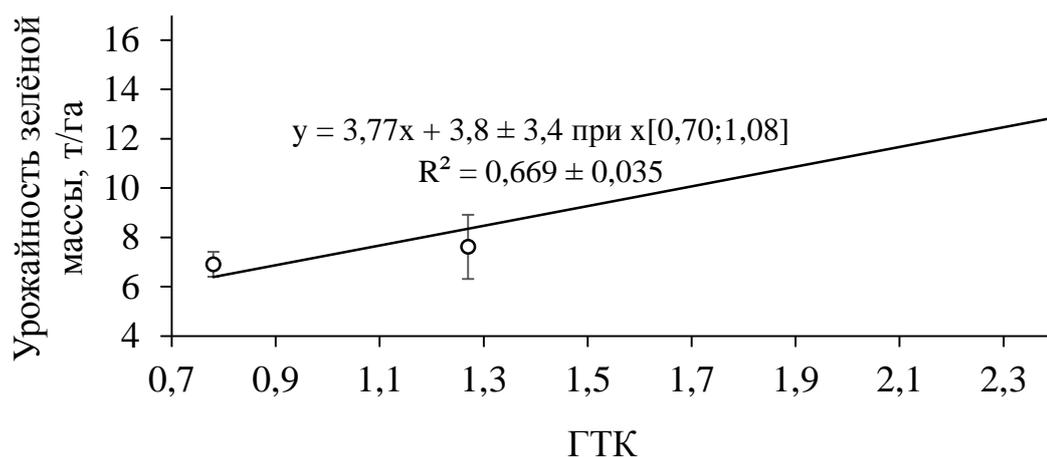


Рисунок 22 – Влияние ГТК на урожайность зелёной массы викоовсяной смеси, 2013-2018 гг.

На травостой озимой ржи значительно влияло внесение в почву азотных удобрений. Доля связи фактора с формированием урожая данной культуры составила 59,5-72,7 % (высокая по шкале Чеддока). Внесение минерального азота способствовало получению урожайности биомассы $17,5 \pm 1,0$ т/га (в среднем за 2015-2017 гг.). Количество ЗМ при применении N_{60} , по сравнению с вариантом N_0 , превысило на 4,3 т/га (32,6 %). Наибольшая урожайность в $18,7 \pm 2,2$ т/га была получена в варианте A_1B_2 в 2015 году. Данный вариант превосходил контроль (A_1B_1) на $6,1 \pm 3,9$ т/га, или на $48,4 \pm 31,0$ %.

Урожайность надземной биомассы горчицы во второй укос достигала $9,8 \pm 2,9$ т/га во влажном 2017 году, когда возделывали после викоовсяной травосмеси при внесении в почву азотных удобрений (A_1B_2). Без внесения азота урожайность была несущественно ниже. Независимо от фона удобрений биомасса посева составила $9,2 \pm 1,1$ т/га. После озимой ржи (A_2) в этом году количество ЗМ горчицы была в среднем на 31,4 % меньше. В следующий год (2018 год при A_2), который был засушлив, урожайность надземной биомассы формировалась невысокой – на $4,2 \pm 1,2$ т/га ($45,7 \pm 13,0$ %) меньше, чем в прошлом году. В 2016 году стояла сильная засуха, которая не позволила сформировать достаточную для уборки высоту травостоя поукосных культур. В остальные годы учёта ЗМ посев горчицы благодаря повышению ГТК до 0,7-1,8 (Рисунок 23) обеспечил среднюю урожайность $7,0 \pm 1,5$ т/га. Это повысило суммарную с основной культурой урожайность в среднем в полтора раза. Таким образом, между ГТК и формированием травостоя данной промежуточной культуры можно было наблюдать весьма высокую степень нелинейной зависимости (F_Φ криволинейности десятикратно выше даже F_{01}), где доля вариативности признака составила около 80,6 %. Эта связь самая сильная среди изученных культур в опыте, поскольку вегетация горчицы от момента посева проходила летом и в сентябре, от весенних запасов практически не зависела.

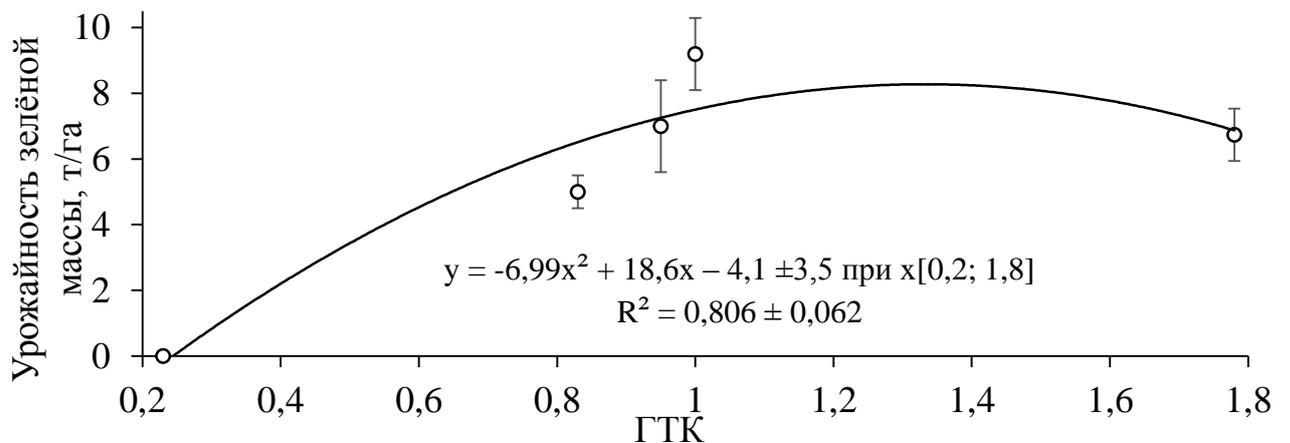


Рисунок 23 – Влияние ГТК на урожайность зелёной массы горчицы, 2015-2018 гг.

Согласно выявленной гиперболической (F_Φ нелинейности десятикратно выше F_{05}) тенденции между ГТК поукосной горчицы и её урожайностью, при ГТК

около 1,3 достигается максимальная надземная биомасса (8 т/га). Тем не менее, представленное на рисунке уравнение справедливо лишь для ГТК в пределах 0,23-1,78. Второй минимум количества ЗМ находится при ГТК за пределами свыше 1,8. Более слабая, но все ещё высокая аналогичная тенденция ($R^2=0,709\pm 0,018$) прослеживалась у ЗМ горчицы совместно со вторым укосом КЛТ (Рисунок 24).

Исходя из этого можно утверждать, что второй укос культур очень сильно зависит от количества выпавших атмосферных осадков. Поскольку зависимость после совместного рассмотрения всех вторых укосов за год всё-таки снизилась, можно утверждать, что многолетние бобово-злаковые травы показали себя более устойчивыми к изменяющимся погодным условиям. В результате влияние погодных условий в формировании надземной биомассы второго укоса различных трав, даже смешанных посевов многолетних трав, можно назвать довольно высоким. Их коэффициент вариации находился на уровне 51,1 %, что на $1/3-1/2$ выше, чем у первого укоса культур в изученных севооборотах.

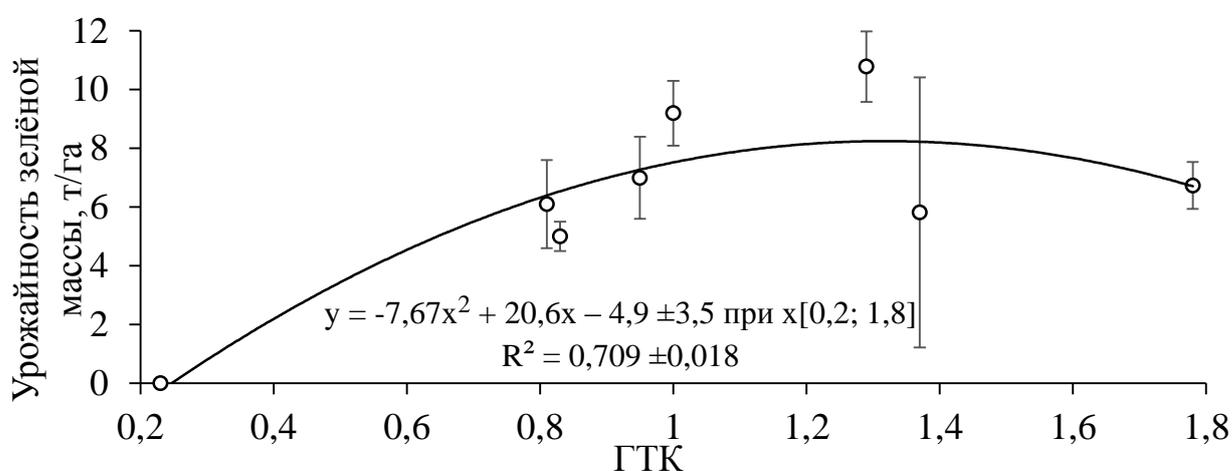


Рисунок 24 – Влияние ГТК на урожайность зелёной массы горчицы и травосмеси из клевера, люцерны и тимофеевки (2-й укос), 2013-2018 гг.

Исследователи [40] утверждают, что многолетние травы в кормовом севообороте продуцируют основную биомассу. Озимая рожь с поукосным посевом горчицы при внесении минерального азота позволили достоверно увеличить количество ЗМ (в сравнении с N_0) с $18,9\pm 1,2$ до $24,8\pm 1,4$ т/га (в среднем на 5,9 т/га, или 31,2 %). Такой урожайности (при N_{60}) КЛТ достигала только в благоприятные для культуры 2015 и 2016 годы. Поэтому озимая рожь с поукосной горчицей в опыте

показали себя высокоурожайными монокультурами, которые часто превосходят смешанные посевы [256]. На полях, где основной культурой была однолетняя бобово-злаковая травосмесь, повышение урожайности от применения минерального азота (на $2,9 \pm 6,7$ т/га) было невыраженным.

Наиболее благоприятные условия для роста биомассы озимой ржи ($15,0 \pm 1,8$ т/га), однолетних травосмесей ($13,1 \pm 2,2$ т/га) и поукосного посева ($7,6 \pm 0,7$ т/га) в основном создавались в севооборотах №1 и №3. Ежегодно за один-два укоса они формировали $19,8 \pm 1,7$ т/га надземной биомассы, что на $5,4 \pm 1,3$ т/га ($37,7 \pm 9,0$ %) выше, чем в севообороте №2. Выявлено, что внесение минерального азота (B_2) в севооборотах, в сравнении с неудобренным фоном, позволило увеличить годовой сбор ЗМ одно-двухлетних культур с $16,3 \pm 1,7$ т/га на $4,0 \pm 2,1$ т/га ($24,5 \pm 12,9$ %).

Следует отметить, что первый укос в севооборотах всегда был урожайнее (в среднем на 53,3 %) второго, в том числе в варианте A_1 – на 29,6 %, A_3 – на 48,8 %, а A_2 – в два раза (Таблица 13, Приложение G).

Таблица 13 – Урожайность зелёной массы в зависимости от минеральных удобрений и севооборота, т/га, среднее за 2013–2018 гг.

Фактор А	Фактор В	1 укос	2 укос	Сумма
A_1	B_1	10,4	8,6	19,0
	B_2	12,9	9,4	22,3
	$\bar{x}(A_1)$	11,7	9,0	20,7
A_2	B_1	9,6	4,7	14,3
	B_2	10,6	5,3	15,9
	$\bar{x}(A_1)$	10,1	5,0	15,1
A_3	B_1	11,3	7,9	19,2
	B_2	12,4	8,0	20,4
	$\bar{x}(A_1)$	11,9	8,0	19,8
\bar{x}	B_1	10,4	7,1	17,5
	B_2	12,0	7,6	19,6
	\bar{x}	11,2	7,4	18,6
НСР ₀₅ вариантов		1,0	0,8	1,3
НСР ₀₅ (А)		0,7	0,6	1,0
НСР ₀₅ (В, АВ)		0,6	0,5	0,8

Невысокая урожайность культур в агрофитоценозах, главным образом, обусловлена погодой в изучаемый период. Согласно исследованиям М.А. Iqbal, [et al.] [248], одной из основных причин пониженной урожайности в травосмесях также выступает конкуренция культур и разнотравья за совокупные ресурсы. В севообороте с двухлетним использованием КЛТ (A_2) в среднем за год собрано наименьшее в опыте количество ЗМ (15,1 т/га). В других севооборотах оно было выше ($НСР_{05}(A) = 1,0$ т/га, или 5,4 %) на 4,7-5,6 т/га (31,3-37,0 %). Наибольшие потери ЗМ произошли во втором укосе в основном из-за неурожайного для промежуточной культуры 2016 года. В среднем за шесть лет здесь сформировалось надземной биомассы всего 5,0 т/га, что в 1,6-1,8 раза ниже ($НСР_{05}(A) = 0,6$ т/га, или 8,1 %), чем в других агрофитоценозах. У севооборотов №1 и №3 превосходство урожайности в первом укосе было менее выраженным ($НСР_{05}(A) = 1,0$ т/га, или 8,9 %) и составляло всего 1,6-1,8 т/га (15,5-17,5 %). Пониженный сбор ЗМ в этом укосе у севооборота №2 обусловлен засухой 2018 год, которая пришлась на влаголюбивую викоовсяную травосмесь и отсутствием в ней засухоустойчивого подсолнечника, в отличие от севооборота №1. Среднегодовая масса скошенных трав севооборота с одно- (A_1) и трёхлетним (A_3) использованием смешанного посева из клевера, люцерны и тимофеевки, большей частью, оказалась одинаковой (19,8-20,7 т/га). Немного урожайнее, в среднем на 1,1 т/га (13,2 %), был второй укос в полях севооборота №1. Дополнительных эффектов от схемы внесения удобрений и выбора структуры севооборота не было выявлено ($H_0:d(AB) = 0$).

На среднегодовую урожайность ЗМ в севооборотах в меньшей степени повлияли азотные удобрения. Внесение азотных удобрений (N_{60}) в контрольном севообороте увеличило надземную биомассу на 3,2 т/га, или 16,8 % ($НСР_{05} = 1,3$ т/га, или 5,9 %). При продлении использования КЛТ до двух-трёх лет (A_{2-3}) минеральная форма азота применялась реже. В результате почва больше, чем в севообороте №1 пополнялась биологическим азотом. Поэтому существенной разницы по схеме внесения в почву удобрений в севообороте №2 и №3 по сравнению с контрольным севооборотом не отмечено. Тем не менее, наибольшее в опыте повышение средне-

годовой урожайности ЗМ трав при внесении N_{60} , составившее 2,5 т/га (23,6 %), зафиксировано в первом укосе севооборота №1 ($НСР_{05} = 1,0$ т/га, 8,9 %). Почти весь эффект от внесения минеральных удобрений, составивший 15,4 %, во всех вариантах получен в первом укосе ($НСР_{05} (B) = 0,6$ т/га, или 5,4 %), во втором укосе он был несущественным. В результате урожайность за два укоса в варианте B_2 увеличилась ($НСР_{05} (B) = 0,8$ т/га, или 4,3 %) на 12,0 % по сравнению с вариантом B_1 .

Общеизвестно увеличение урожайности культур или их биомассы с ростом содержания гумуса в почве [239]. В нашем эксперименте оно прослеживалось (Рисунок 25) в виде прямой зависимости. Доля связи между содержанием гумуса в слое почвы 0-20 см и формировании ЗМ составляла 20,5-46,5 %, что оценивается как «заметная» по шкале Чеддока. С каждым повышением содержания гумуса в почве на 0,1 % увеличивалась урожайность зелёной массы культур в среднем на $1,9 \pm 3,8$ %. Тем не менее, данная закономерность подходит только для значений в изученных пределах абсцисс ($x[2,19;2,42]$), поскольку ограничивающие факторы роста растений должны иметь криволинейную функцию с двумя минимумами и одним максимумом. Связь между содержанием азота в слое почвы 0-20 см и ЗМ была незначительной благодаря существенной доле бобовых трав в севооборотах и из-за снижения дозы внесения удобрений в третью ротацию.

Ячмень относится к важнейшим зерновым и зернофуражным культурам [88; 140].

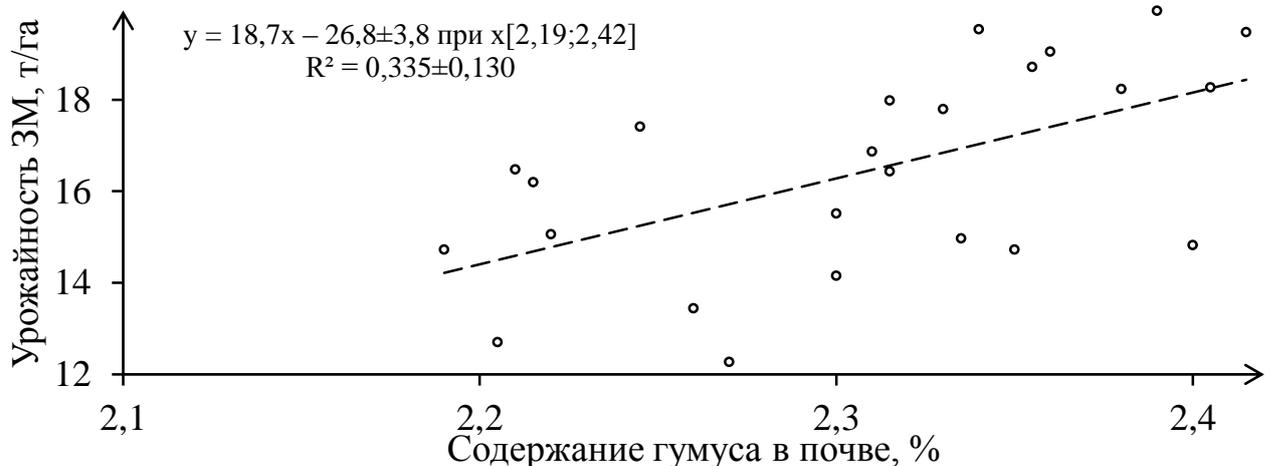


Рисунок 25 – Влияние содержания гумуса в слое почвы 0-20 см на урожайность надземной биомассы кормовых культур (среднее за 2013-2018 гг.).

Яровой ячмень в севооборотах выращивался в разные годы (Таблица 14, прилож. G). Согласно проведённым нами ранее исследованиям [110], уровень урожайности зерна культуры в третьей ротации был наибольшим в опыте – 3,09 т/га. При продлении использования многолетних бобово-злаковых трав в севообороте до трёх лет (A_3) не прослеживалось повышения урожайности ячменя. Засушливые метеоусловия также не снижали её благодаря засухоустойчивости сорта. Это обстоятельство не позволило выявить корреляционную зависимость между урожайностью зерна и ГТК. Существенные различия ($НСР_{05} = 1,03-1,28$ т/га) в разные годы исследований не отмечены при внесении азотных удобрений (B_2). Так, в севообороте №2 наибольшее повышение урожайности зерна в результате применения азотных удобрений, составившее 1,14 т/га (40,8 %), не было подтверждено. В остальных севооборотах оно также наблюдалось лишь в виде тенденции.

Таблица 14 – Урожайность зерна ячменя в севооборотах, т/га

Вариант	A_1 (2016 год)	A_2 (2017 год)	A_3 (2018 год)	$\bar{x}(B)$
B_1	2,64±0,76	2,78±1,11	2,76±0,80	2,73±0,30
B_2	3,39±0,70	3,92±1,01	3,05±0,50	3,45±0,41
$\bar{x}(A)$	3,02±0,50	3,35±0,71	2,91±1,27	3,09±0,28
$НСР_{05}$	1,03	1,28	1,18	0,47

Урожайность ярового ячменя в среднем за три года увеличивалась с 2,73 т/га при N_0 до 3,45 т/га, или на 0,72 т/га (26,5 %), от внесения азотных удобрений ($НСР_{05}=0,47$ т/га, или 15,2 %). Подобный рост урожайности культуры отмечен и в исследованиях [226] при внесении N_{18-54} .

Таким образом, продление использования многолетних бобово-злаковых травосмесей в шестипольных травянозерновых севооборотах с одного года (A_1) до трёх лет (A_3) при неблагоприятных метеорологических условиях не способствовало повышению сбора ни ЗМ, ни зерна ячменя. Выявлена сильная корреляционная зависимость между урожайностью ЗМ культур во втором укосе, КЛТ и викоовсяных смесей в первом укосе и ГТК. Оптимальный ГТК в зависимости от культуры находился в пределах 0,8-2,3. Каждое повышение содержания гумуса в почве на 0,1 % увеличивало урожайность ЗМ севооборотов в среднем на 1,9 т/га. Внесение

минеральных удобрений, главным образом, положительно (в среднем на 20,9 %) повлияло на урожайность надземной биомассы одно-двулетних культур (на первый укос) и зерна. Поэтому наибольшее преимущество применения N_{60} проявилось в севообороте №1 с наименьшей насыщенностью многолетними бобово-злаковыми травами. В данном варианте (A_1B_2) с первого укоса (12,9 т/га) среднегодовой надземной биомассы было (по сравнению с A_1B_1) выше на 24,0 %, с суммы двух укосов (22,2 т/га) – на 16,8 %. Урожайность зерна ячменя достигала наибольших в опыте значений (3,39-3,92 т/га) при внесении N_{60} в севооборотах с одно- (A_1) и двухлетним (A_2) выращиванием КЛТ.

3.3.2 Продуктивность севооборотов и качество кормов

Среднегодовая продуктивность изучаемых агрофитоценозов была различной в зависимости от их насыщенности многолетним бобово-злаковым травостоем (Таблица 15-18, Приложение Н). Как показано в главе 3.3.1, на их урожайность часто влиял ГТК.

Таблица 15 – Среднегодовой сбор сухого вещества в кормовых севооборотах, т/га, среднее за 2013-2018 гг.

Вариант	Фактор А			$\bar{x}(B)$
	A_1	A_2	A_3	
Фактор В				
B_1	3,51	3,86	5,37	4,25
B_2	4,18	4,33	6,05	4,85
$\bar{x}(A)$	3,84	4,09	5,71	4,55
НСР ₀₅ = 0,78; НСР ₀₅ (А) = 0,61; НСР ₀₅ (В) = 0,46; НСР ₀₅ (АВ): $H_0: d = 0$				

Установлено явное преимущество шестипольного севооборота, где КЛТ на ЗМ скашивали в течение трёх лет (A_3), над остальными по сбору СП, СВ, ОЭ и КЕ (в порядке убывания). Он превышал севооборот с однолетним использованием многолетних трав (A_1) по данным показателям в среднем на 73,0, 48,6, 42,9 и 37,7 % соответственно, а с двухлетним (A_2) – на 40-43 %. Так, в опыте именно сбор

СП наиболее увеличивался при продлении жизни КЛТ. Поэтому среди других показателей продуктивности лишь по количеству азотосодержащих веществ севооборот №2 существенно (на 33 %) превышал севооборот №1.

Таблица 16 – Среднегодовой сбор сырого протеина кормовых севооборотах, кг/га, среднее за 2013-2018 гг.

Вариант	Фактор А			$\bar{x}(B)$
Фактор В	A ₁	A ₂	A ₃	
B ₁	430	530	762	574
B ₂	534	665	906	702
$\bar{x}(A)$	482	597	834	638
НСР ₀₅ =126; НСР ₀₅ (А)=99; НСР ₀₅ (В)=75; НСР ₀₅ (АВ): Н ₀ :d=0				

Таблица 17 – Среднегодовой сбор обменной энергии кормовых севооборотах, ГДж/га, среднее за 2013-2018 гг.

Вариант	Фактор А			$\bar{x}(B)$
Фактор В	A ₁	A ₂	A ₃	
B ₁	30,7	31,6	45,5	35,9
B ₂	36,3	36,6	50,2	41,0
$\bar{x}(A)$	33,5	34,1	47,9	38,5
НСР ₀₅ =7,6; НСР ₀₅ (А)=6,0; НСР ₀₅ (В)=4,5; НСР ₀₅ (АВ): Н ₀ :d=0				

Таблица 18 – Среднегодовой сбор кормовых единиц кормовых севооборотах, тыс. кормовых единиц/га, среднее за 2013-2018 гг.

Вариант	Фактор А			$\bar{x}(B)$
Фактор В	A ₁	A ₂	A ₃	
B ₁	2,20	2,11	3,08	2,46
B ₂	2,60	2,51	3,53	2,88
$\bar{x}(A)$	2,40	2,31	3,30	2,67
НСР ₀₅ =0,47; НСР ₀₅ (А)=0,37; НСР ₀₅ (В)=0,28; НСР ₀₅ (АВ): Н ₀ :d=0				

Сбор СВ, КЕ и ОЭ в севооборотах имел высокую (коэффициент детерминации 0,590-0,737), а сбор СП весьма высокую ($R^2 = 0,873$) по шкале Чеддока связь с долей многолетних бобово-злаковых трав (Рисунок 26). Согласно полученным уравнениям, сбор КЕ, СВ, СП и ОЭ в 1 га пашни увеличивался соответственно с

1,73 тыс. КЕ, 2,64 т, 280 кг и 23,7 ГДж (при отсутствии многолетних трав) на 0,48 тыс. КЕ, 0,96 т, 180 кг и 7,5 ГДж с каждым ростом доли многолетних трав на $\frac{1}{6}$. При насыщенности в 50 % эти показатели достигли 3,17 тыс. КЕ, 5,53 т, 820 кг и 46,2 ГДж.

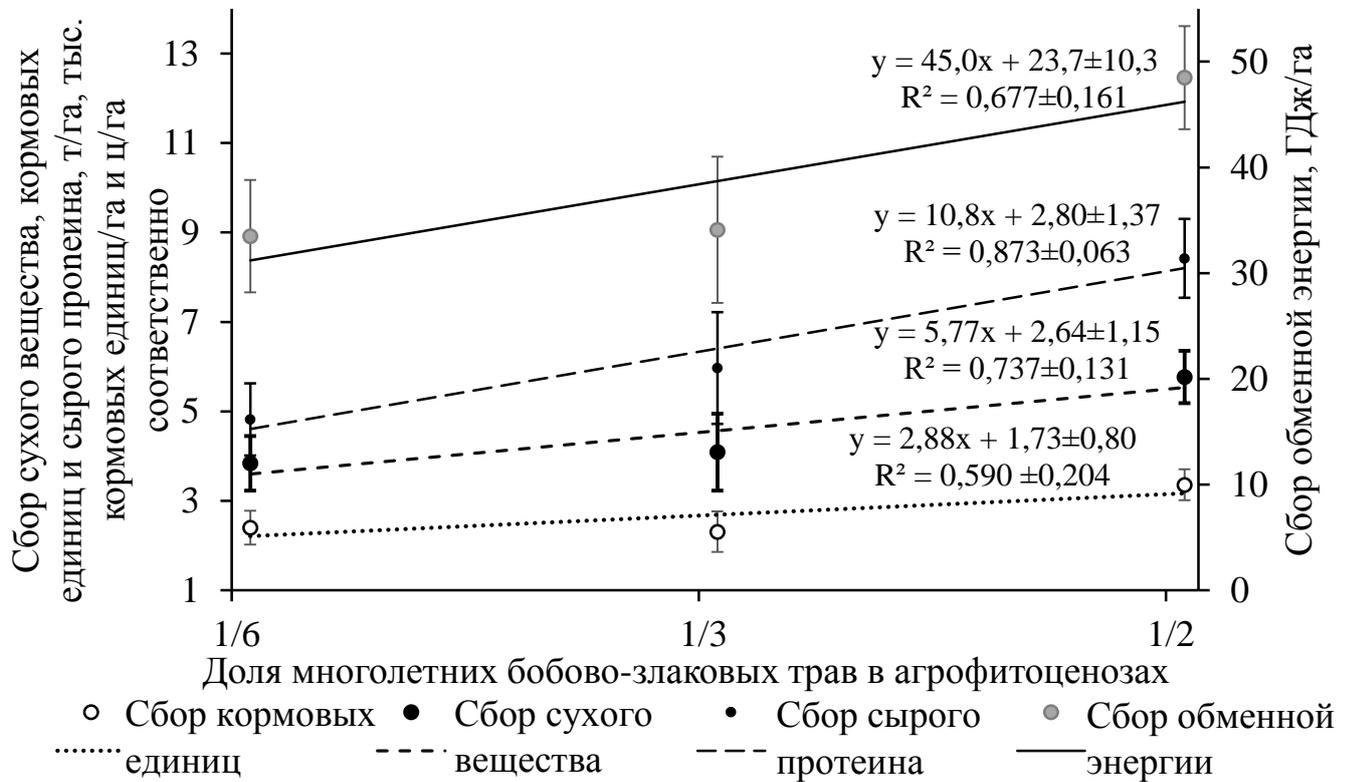


Рисунок 26 – Сбор сырого протеина, сухого вещества, обменной энергии и кормовых единиц в зависимости от длительности использования многолетних бобово-злаковых трав, 2013-2018 гг.

Согласно полученным уравнениям, в шестипольных травянозерновых кормовых севооборотах без многолетних бобово-злаковых трав прогнозируемая продуктивность в среднем ниже на 27,9 %, по сравнению с их однолетним использованием.

Сбор СВ и ОЭ в агрофитоценозах при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ (B_2) фиксировалась в среднем на 14,2% выше, чем при сокращённых дозах (B_1), КЕ – на 17,1 %, СП – на 22,3 %.

Также следует отметить, что по севооборотам №2 и №3 при внесении N_{60} , по сравнению с N_0 , наблюдались частные случаи достоверно большего сбора СП ($НСР_{05} = 126$ кг/га) на 135 кг/га (25,6 %) и 144 кг/га (18,9 %). В севообороте №1

преимущества применения N_{60} над N_0 , составившие 24,0 % (104 кг/га), были несущественными. По остальным показателям они также проявлялись лишь в виде тенденции. Благодаря повышенной самообеспеченности данным элементом в севообороте с трёхлетним использованием КЛТ (A_3) произошло наименьшее влияние азота на рассматриваемые показатели.

На невысокую продуктивность севооборота №2 (A_2) повлияло отсутствие урожая горчицы в 2016 году. В результате анализа данных по всем севооборотам было установлено, что в севообороте №3 с максимальной в опыте длительностью возделывания КЛТ получено наибольшее количество СВ, СП, ОЭ и КЕ, ежегодно составившие на 1 га пашни соответственно около 5,71 т, 834 кг, 47,9 ГДж и 3,30 тыс. КЕ. При ежегодном внесении NPK в дозе 60 кг д.в. данный севооборот (A_3B_2) превосходил остальные севообороты по таким элементам продуктивности, как сбор КЕ в 3,53 тыс. КЕ/га, СВ – 6,05 т/га, СП – 906 кг/га и ОЭ – 50,2 ГДж/га.

Следует также отметить, что была прослежена «заметная» по шкале Чеддока положительная зависимость, описываемая прямой линией, между содержанием азота в слое почвы 0-20 см в конце исследований и среднегодовыми сборами СВ ($R^2 \approx 0,466$), ОЭ ($R^2 \approx 0,497$), СП ($R^2 \approx 0,423$) и КЕ ($R^2 \approx 0,485$) (Рисунок 27). Увеличение продуктивности агрофитоценозов от насыщения многолетними бобово-злаковыми травами и схемы внесения удобрений во многом зависело от содержания общего азота в почве.

Аккумуляция СП, ОЭ и КЕ в СВ скошенной биомассы и зернофуража за шестилетний период зависело от изучаемых факторов (Таблица 19, прилож. I).

Наибольшее повышение ($НСР_{05} = 0,4$ %, или 2,9 % в отн.) доли СП в СВ получаемых кормов в севообороте происходило при переходе с однолетнего использования КЛТ (A_1B_2) на двухлетнее (A_2B_2) при внесении азотных удобрений (на 2,6 %, или 20,3 % в отн.). Без их внесения концентрация азотных соединений увеличивалась на 1,4 % (11,4 %) при продлении возделывания КЛТ как до трёх (A_2B_1) лет, так и четырёх (A_3B_1). Следует отметить ($НСР_{05}(B) = 0,2$ %, или 1,4 % в отн.), что во всех вариантах с бессменным внесением минеральных удобрений (B_2) показатель значительно выше (в среднем на 1,0 %, или 7,5 % в отн.).

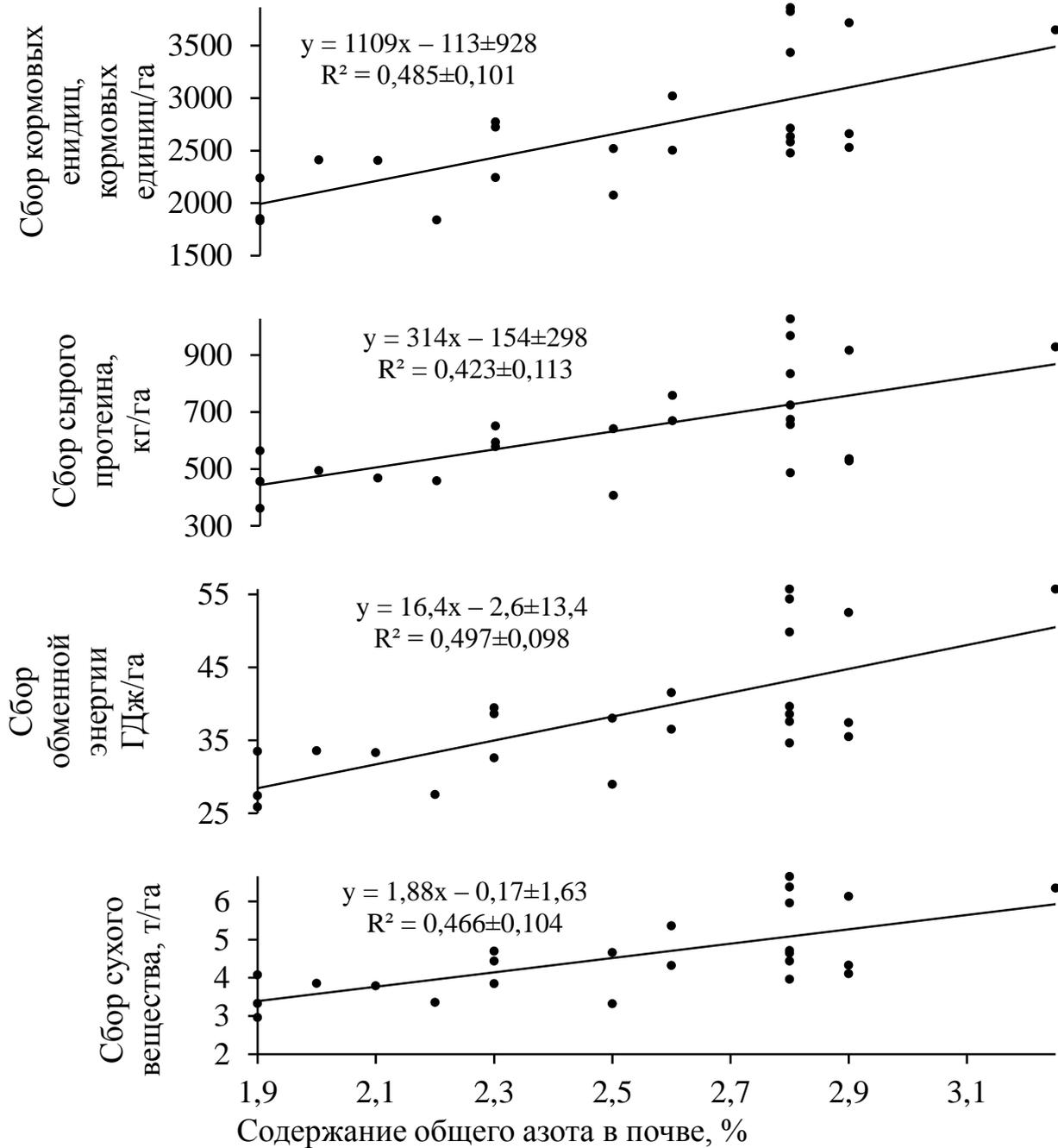


Рисунок 27. Влияние содержания общего азота в слое почвы 0-20 см на среднегодовой сбор обменной энергии, сырого протеина, сухого вещества и кормовых единиц в севооборотах.

Двух (A_2) и трёхлетнее (A_3) пользование многолетних травосмесей позволило достоверно ($НСР_{05}(A) = 0,3 \%$, или $2,2 \%$ в отн.) повысить долю СП в СВ с $12,6 \%$ при однолетнем (A_1) на $15,9 \%$ в относительном сравнении.

Самое низкое в опыте содержание азотосодержащих веществ в севообороте №1 обусловлено присутствием в его структуре озимой ржи с содержанием СП

всего $9,0 \pm 1,1$ % (Рисунок 28). Ячмень на зернофураж также не соответствовал высоким качествам концентрированных кормов (СП менее 18 %, ОЭ – 12 МДж/кг СВ). Самые лучшие объёмистые корма в севооборотах были получены при поукосном возделывании горчицы со средней долей азотосодержащих веществ $17,0 \pm 2,2$ %. Таким образом, требуемое к качеству кормов среднее содержание СП не менее 15 % в некоторых вариантах было получено в основном за счёт внесения азотных удобрений, полей с посевами ячменя и горчицы.

Таблица 19 – Качество получаемых кормов в травянозерновых севооборотах, среднее за 2013-2018 гг.

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

К тому же, был установлен существенный эффект от взаимодействия факторов (НСР₀₅(AB) равен 0,2 %, или 1,4 % в отн.). Выяснено, что содержание СП от применения азотных удобрений в дозе 60 кг д.в. и продления возделывания КЛТ с двух лет (A₁B₁) до трёх (A₂B₂) дополнительно к прибавкам от их введения повысилось на 1,2 % (8,6 %), до четырёх (A₃B₂) – всего на 0,4 % (2,9 %).

Существенная положительная прямолинейная корреляционная зависимость (высокая по шкале Чеддока) с долей многолетних трав в севообороте наблюдалась только по содержанию азотосодержащих веществ при внесении N₀P₆₀K₆₀

(Рисунок 29). Согласно приведённому уравнению, прогнозируемая средняя доля СП в урожае без многолетних трав составляет 11,5 % и увеличивается на 0,9 % при насыщении севооборотов многолетними травами на $1/6$.

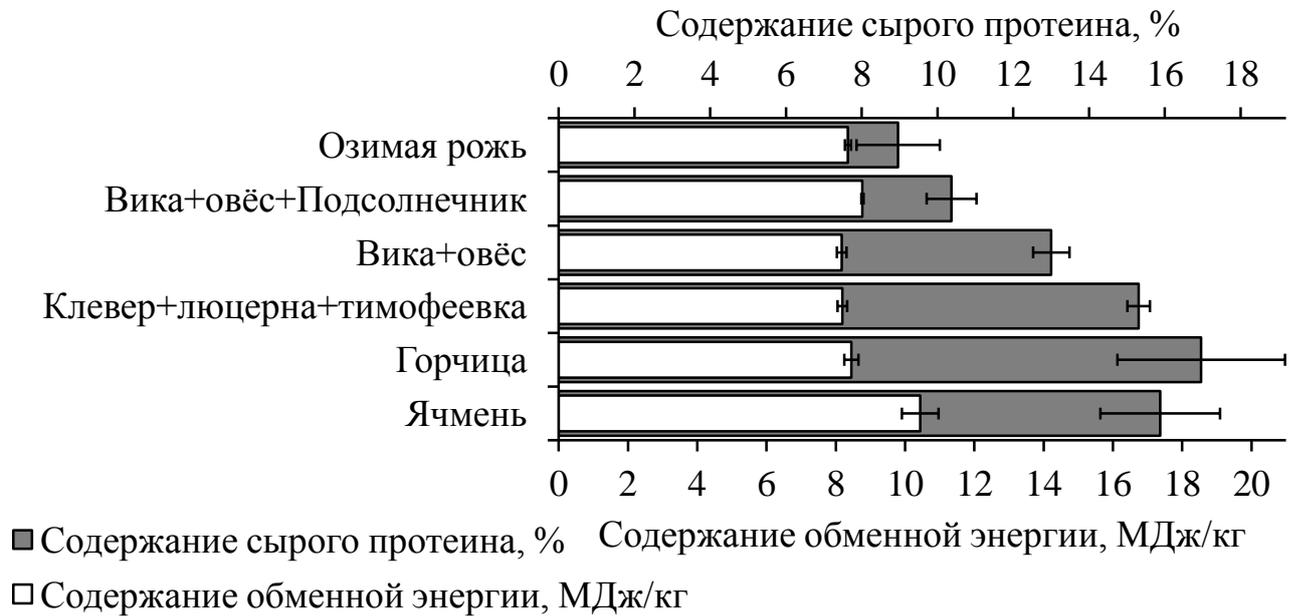


Рисунок 28. Среднее содержание сырого протеина и обменной энергии в кормах в зависимости от культуры севооборота.



Рисунок 29 – Влияние доли многолетних трав в севообороте при внесении $N_0P_{60}K_{60}$ на содержание сырого протеина в урожае, в среднем за 2013-2018 гг.

Другие изученные характеристики кормов во всех севооборотах не соответствовали необходимым требованиям качества. Кроме того, увеличение содержания в СВ как КЕ, так и ОЭ происходило в вариантах аналогичным образом (содержание КЕ равно произведению квадрата содержания ОЭ и переводного коэффициента). В результате в вариантах опыта количество КЕ в 1 кг менялось более выражено ($V = 4,85\%$), чем ОЭ ($V = 2,91\%$).

Увеличение продуктивности возделываемых культур в травянозерновых севооборотах, наблюдаемое при продлении выращивания КЛТ, не обеспечивало роста энергетической ценности получаемых кормов. Напротив, прослеживались даже некоторые тенденции снижения концентрации ОЭ и КЕ. Кроме того, они не достигали оптимальных значений. Так, самое большое содержание ОЭ и КЕ, составившее соответственно 8,81 МДж/кг ($НСР_{05}(A) = 0,23$ МДж/кг, или 2,7 %) и 0,625 КЕ/кг ($НСР_{05}(A) = 0,011$ КЕ/кг, или 1,9 %), было получено в севообороте №1. Двухлетнее (A_2) использование КЛТ привело к снижению концентрации энергии и КЕ в полученных кормах соответственно на 5,3 % и 9,6 %, а трёхлетнее (A_3) – на 4,7 и 6,9 %. Применение азотных удобрений большее влияние имело в севообороте №2. Вариант A_2B_2 с внесением минерального азота превзошёл вариант без его использования (A_2B_1) по содержанию КЕ на 6,0 % ($НСР_{05} = 0,014$ КЕ/кг, или 2,4 %). Всё же количество КЕ в 1 кг полученных кормов в среднем по варианту внесения удобрений B_2 было выше на 2,2 %, чем по B_1 ($НСР_{05}(B) = 0,008$ КЕ/кг, или 1,4 %), чего по уровню значимости 5 % не наблюдалось при оценке содержания ОЭ.

Севооборот №3 по содержанию СП в полученных кормах существенно не уступал севообороту №2. Тем не менее, внесение минерального азота в дозе 60 кг/га на фоне $P_{60}K_{60}$ (A_3B_2) под однолетние культуры и в подкормку озимых в течение третьей ротации дало преимущество только по концентрации СП. Данный севооборот по содержанию ОЭ и КЕ занимал невысокие значения. В итоге сравнение изученных шестипольных травянозерновых севооборотов по представленным в таблице 19 кормовым характеристикам позволило выделить вариант A_2B_2 в качестве самого оптимального. Согласно результатам опыта, в 1 кг кормов варианта A_2B_2 аккумулировалось 15,4 % СП, 8,46 МДж ОЭ и 0,581 КЕ.

Среди изученных культур самое высокое качество кормов обеспечивали зерно ярового ячменя (в среднем 10,4 МДж/кг ОЭ, 15,9 % СП). Многолетняя травосмесь уступала ему по энергетической ценности в два раза.

Таким образом, в шестипольных травянозерновых кормовых севооборотах в третью ротацию на дерново-подзолистой почве с очень высоким содержанием фос-

фора и калия установлено, что при трёхлетнем использовании КЛТ (A_3), по сравнению с одно- (A_1) и двухлетним (A_2), показатели продуктивности были выше на 37-49 %. Полученные корма при возделывании культур в севообороте №2 имели наиболее оптимальные качественные характеристики. Без внесения азотных удобрений, по сравнению с удобренным фоном, в севообороте №3 (A_3B_1) значения основных показателей продуктивности культур снижались меньше, чем в других севооборотах.

3.4 Биоэнергетическая и экономическая эффективность возделывания культур в агрофитоценозах

Большинство авторов [16; 28; 31] считают, что энергетические методы наиболее объективны в оценке эффективности сельскохозяйственного производства. Стоимостные показатели в условиях рыночной экономики очень субъективны, поскольку требуют сведения к сопоставимым ценам, сильно зависят от изменения курса валют, инфляции. Они также неудобны при учёте нетоварной продукции, что бывает при производстве кормов для внутривладельческих нужд [16]. В результате энергетическая оценка позволяет проводить сравнение технологий независимо от места, времени и ценовых соотношений [190].

Наши исследования показали, что применение аммиачной селитры при возделывании кормовых культур выступало самой энергозатратной операцией (Таблица 20, Приложение J). По сравнению с вариантами, где селитра не вносилась ($A_{1-3}B_1$), совокупные затраты были выше ($НСР_{05} = 5$ ГДж/га, или 3,5 %) на 24-32 ГДж/га, или 19,8-24,0 %. В севообороте №3 энергоёмкость возделывания возросла в меньшей степени, поскольку внесение минерального азота проводилось всего три раза за ротацию.

В результате применение удобрений (фактор В) в опыте оказало наибольшее влияние на энергетические затраты возделывания культур. При дозе внесения НРК по 60 кг/га д.в. (B_2) суммарные расходы энергоресурсов за 2013-2018 гг. (в среднем 158 ГДж/га) превосходили ($НСР_{05}(B) = 2$ ГДж/га, или 1,4 %) вариант с

неудобренным фоном (B_1) в среднем на 29 ГДж/га, или 22,5 %. Очень высокие издержки, связанные с применением азотных удобрений (7,2 ГДж/га в год), формировались всего на 3,1 ГДж/га (30,1 %) меньше, чем при выращивании наименее энергоёмкой культуры – поукосного посева горчицы (Рисунок 31).

Таблица 20 – Биоэнергетическая эффективность выращивания культур в агрофитоценозах, среднее за 2013-2018 гг.

Показатель	Вариант	Фактор А			$\bar{x}(B)$
	Фактор В	A_1	A_2	A_3	
Затраты совокупной энергии, ГДж/га	B_1	141	125	121	129
	B_2	173	155	145	158
	$\bar{x}(A)$	157	140	133	143
	$HCP_{05} = 5; HCP_{05}(A) = 3; HCP_{05}(B, AB) = 2$				
Энергообеспеченность сырого протеина, МДж/кг	B_1	55,0	40,0	26,8	40,6
	B_2	54,2	39,0	26,6	39,9
	$\bar{x}(A)$	54,6	39,5	26,7	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	B_1	10,7	10,0	6,6	9,1
	B_2	11,1	10,3	6,8	9,4
	$\bar{x}(A)$	10,9	10,2	6,7	9,3
	$HCP_{05} = 1,1; HCP_{05}(A) = 0,8; HCP_{05}(B, AB): H_0:d = 0$				
Коэффициент энергетической эффективности	B_1	1,31	1,52	2,27	1,70
	B_2	1,26	1,42	2,12	1,60
	$\bar{x}(A)$	1,29	1,47	2,20	1,65
	$HCP_{05} = 0,29; HCP_{05}(A) = 0,23; HCP_{05}(B, AB): H_0:d = 0$				

Сокращение длительности возделывания КЛТ в течение ротации увеличило число обработок почвы, количество внесённых азотных удобрений и других мероприятий. В результате возросло число полей с одно- и двухлетними травами, которые даже без учёта поукосной культуры ($34,7 - 10,3 = 24,4$ ГДж/га в среднем за год) были самыми энергоёмкими и приводили к повышению производственных затрат в севооборотах. Так, с уменьшением срока использования КЛТ с трёх лет (A_3) до двух (A_2) потребление энергоресурсов повысилось ($HCP_{05}(A) = 3$ ГДж/га, или 2,1 %) на 5,3 %, а с двух (A_2) до одного (A_1) – ещё на 12,1 %. Экономия энергии

при возделывании культур в севообороте №3 была наибольшей, по сравнению с контролем (A_1), и составил 24 ГДж/га (18,1 %).

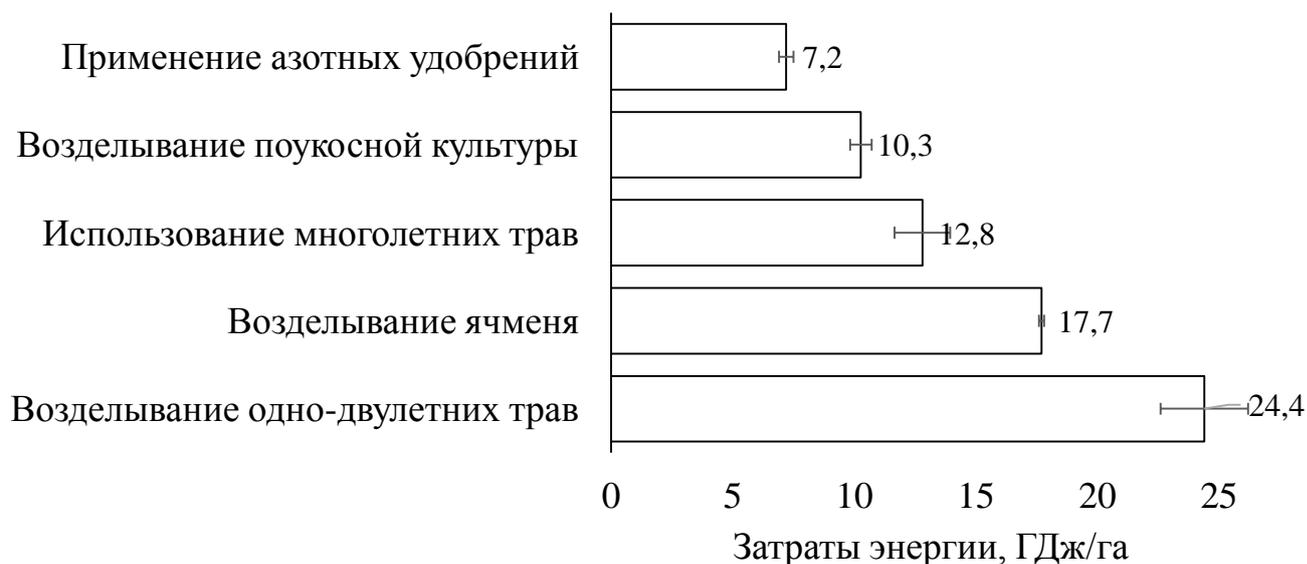


Рисунок 31 – Среднегодовые энергетические затраты на основные виды расходов, 2013-2018 гг.

Установлено, что увеличение общих энергозатрат при сокращении полей с многолетними бобово-злаковыми травами проявлялось сильнее при внесении азотных удобрений (B_2). В вариантах без внесения азота различия в энергозатратах между севооборотами с двумя (A_2B_1) и тремя (A_3B_1) годами использования многолетних трав находились в пределах ошибки опыта. При внесении минерального азота выбор в пользу севооборота A_2B_2 вместо A_3B_2 увеличил совокупные энергозатраты с 145 ГДж/га на 10 ГДж/га (6,9 %), а в пользу A_1B_1 – уже на 55 ГДж/га (37,9 %).

Ещё лучше расхождение затрат представлено с помощью выведенных прямолинейных графиков на фоне их диаграмм (Рисунок 32). Так, коэффициент отрицательной регрессии в варианте B_2 ($b_{yx} = -85,0$) выражен на 45,6 % сильнее, чем в варианте B_1 ($b_{yx} = -58,4$). К тому же связь доли многолетних бобово-злаковых трав в севообороте при схеме внесения минеральных удобрений B_2 с совокупными энергозатратами по шкале Чеддока позиционируется как весьма высокая ($94,8 \pm 2,6$ %), а при B_1 ($75,1 \pm 12,3$ %) – как высокая. Представленные на рисунке функции также

позволяют спрогнозировать величину этих издержек с 5 % значимостью при отсутствии многолетних бобово-злаковых трав в структуре севооборотов. В нашем случае они составляют 186 ± 6 ГДж/га при длительном внесении азотных удобрений (B_2) и 148 ± 11 ГДж/га, что меньше на 38 ± 13 ГДж/га – без их применения (B_1). Согласно уравнениям, на каждое насыщение агрофитоценозов одним полем многолетних бобово-злаковых трав при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ приходится сокращение совокупных энергозатрат в размере 14 ГДж/га, а при $P_{60}K_{60}$ – 10 ГДж/га.

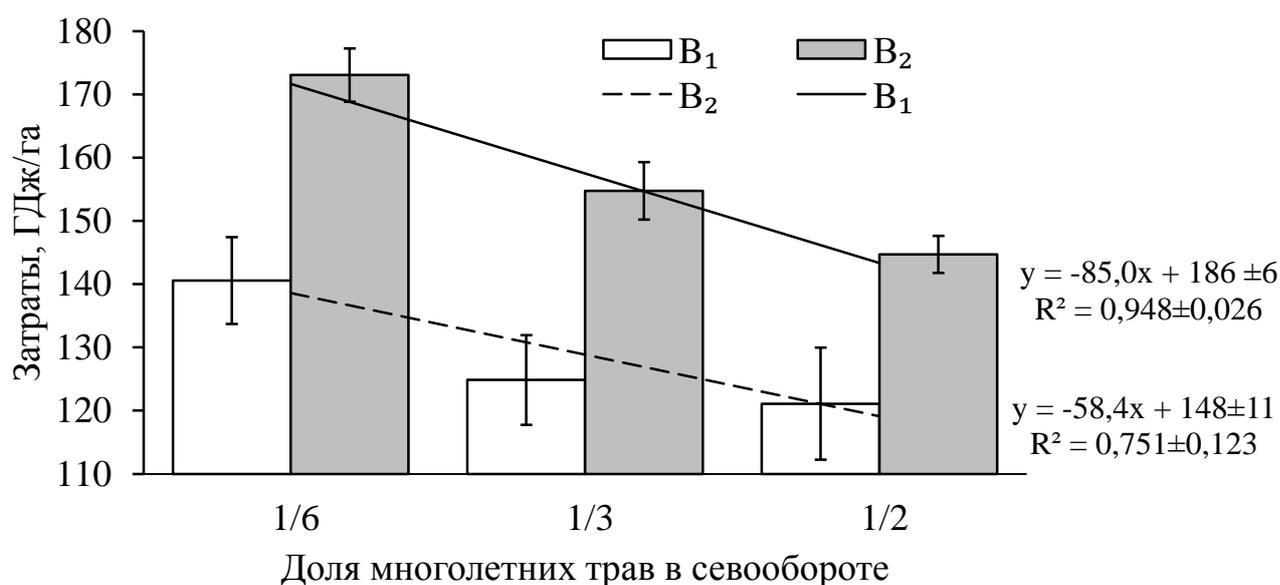


Рисунок 32 – Влияние насыщенности севооборотов многолетними бобово-злаковыми травами на затраты совокупной энергии производства кормов, 2013-2018 гг.

Только по рассматриваемому показателю зафиксированы существенные эффекты взаимодействия факторов ($НСР_{05}(AB) = 2$ ГДж/га, или 1,4 %). Они проявились почти во всех возможных случаях, кроме одной (Таблица 21). Дополнительных совокупных энергозатрат при возделывании культур в агрофитоценозах при переходе от однолетнего использования КЛТ (A_1) к двухлетнему (A_2) и удобренному фону ($A_1B_2 \rightarrow A_2B_1$) не произошло. Причиной этому является то, что рассмотренная прибавка не превысила $НСР_{05}$ взаимодействия АВ, составившая 2 ГДж/га (1,4 %). Наибольшие дополнительные энергетические издержки (в среднем 8 ГДж/га, или 5,6 %) произошли при переходе с $1/6$ насыщенности агрофитоценозов многолетними бобово-злаковыми травами к $1/2$ и со снижением доз удобрений

($A_1B_2 \rightarrow A_3B_1$). Выбор в пользу данного варианта при переходе с доли многолетних трав $1/3$ ($A_2B_2 \rightarrow A_3B_1$) также позволил получить синергический эффект производственных затрат в 6 ГДж/га (4,2 %). Это весомо и по НСР₀₁ взаимодействия факторов (3 ГДж/га).

Таблица 21 – Эффекты взаимодействия факторов опыта по суммарным затратам энергии при возделывании культур в севооборотах, среднее за 2013-2018 гг.

Вариант	A_2B_1	A_3B_1	
A_1B_2	2 ГДж/га	8 ГДж/га	НСР ₀₅ (AB) = 2 ГДж/га НСР ₀₁ (AB) = 3 ГДж/га
A_2B_2	—	6 ГДж/га	
A_3B_2	—	—	

Таким образом, затраты в севообороте без азотных удобрений и с использованием КЛТ свыше двух лет ($A_{2-3}B_1$) были наименьшими (121-125 ГДж/га).

Высокие дополнительные затраты на возделывание культур в севооборотах от применения азотных удобрений компенсировалось равнозначным снижением энергоёмкости сбора СП. Разница между вариантами фактора В отсутствовала, поскольку была в несколько раз ниже, чем НСР₀₅ по их частным различиям (5,0 МДж/кг, или 12,4 %), а по фактору В нулевая гипотеза не опровергнута. Сильное влияние на затраты по производству азотосодержащих веществ оказала продолжительность жизни многолетних бобово-злаковых трав. Её увеличение с двух лет (A_1) до четырёх (A_3) в севооборотах независимо от доз внесения аммиачной селитры уменьшало (НСР₀₅ (A) = 3,9 МДж/кг, или 9,7 %) окупаемость подобных энергозатрат с 54,6 МДж/кг СП в два раза (на 27,9 МДж/кг). Каждый добавленный год использования КЛТ сокращал энергоёмкость 1 кг важнейшего по характеристикам кормов показателя в среднем на 14,0 МДж/га (30,0 %). Таким образом, можно заметить, что сокращение рассматриваемого показателя происходит с постепенным убыванием. Это хорошо продемонстрировано в прямолинейной функции (Рисунок 33).

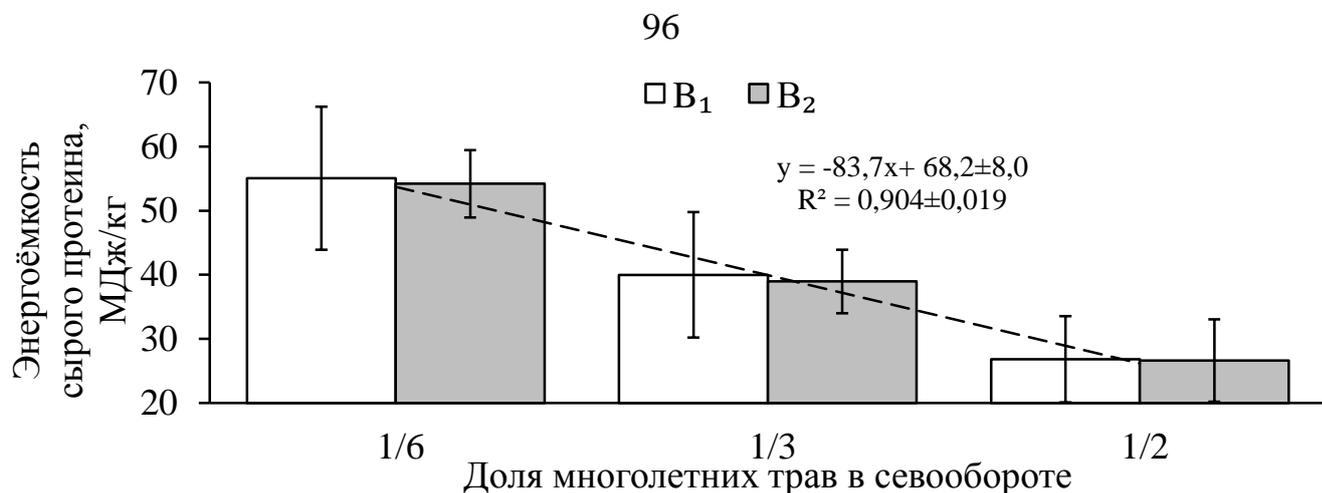


Рисунок 33 – Влияние насыщенности агрофитоценозов многолетними бобово-злаковыми травами на энергоёмкость производства сырого протеина, 2013-2018 гг.

Представленная функция весьма достоверно позволяет описать зависимость между энергоёмкостью СП и степенью насыщенности агрофитоценозов многолетними бобово-злаковыми травами. Так, доля связи с насыщенностью в формировании подобных затрат являлась весьма высокой и составляла $90,4 \pm 1,9$ %. Преимущество севооборота №3 ($26,4 \pm 8,0$ ГДж/га), над севооборотами без многолетних трав, с одним и двумя полями, согласно уравнению, соответствовало 2,6, 2,1 и 1,5 кратным величинам (средний шаг значения $14,0$ ГДж/га).

Энергоёмкости производства КЕ также была свойственна тенденция снижения по мере увеличения степени насыщенности структуры агрофитоценозов многолетними бобово-злаковыми травами и отсутствие существенной разницы по фактору В и взаимодействию факторов. Следовательно, энергозатраты на внесение азотных удобрений полностью компенсировало соответствующее увеличение продуктивности КЕ.

Энергетические затраты на формирование КЕ в севообороте №1 и №2 были самыми высокими, на одном уровне ($НСР_{05}(A)=0,8$ МДж/кг, или 8,6 %) и составляли в среднем $10,5$ МДж/кг. Переход с данных вариантов к $1/2$ насыщению агрофитоценоза КЛТ (A_3) позволило сэкономить около $3,8$ МДж/кг КЕ (36,3 %).

Уменьшение энергоёмкости КЕ по мере продления использования многолетних бобово-злаковых трав в агрофитоценозах, несмотря на рассмотренные ранее тенденции, лучше всего описывалось прямолинейным уравнением (Рисунок 34). Согласно корреляционным данным, затраты энергии на формирование КЕ на

82,2-92,2 % зависели от степени насыщенности изучаемых видов севооборотов многолетними травами. Степень связи по шкале Чеддока была в пределах «высокой» и «весьма высокой». При сокращении полей с многолетними травами в шестилетних агрофитоценозах энергоёмкость 1 КЕ увеличивалась в среднем на 2,1 МДж с 7,1 МДж в севооборотах с долей многолетних бобово-злаковых трав $1/2$ до 13,5 МДж – без их использования.

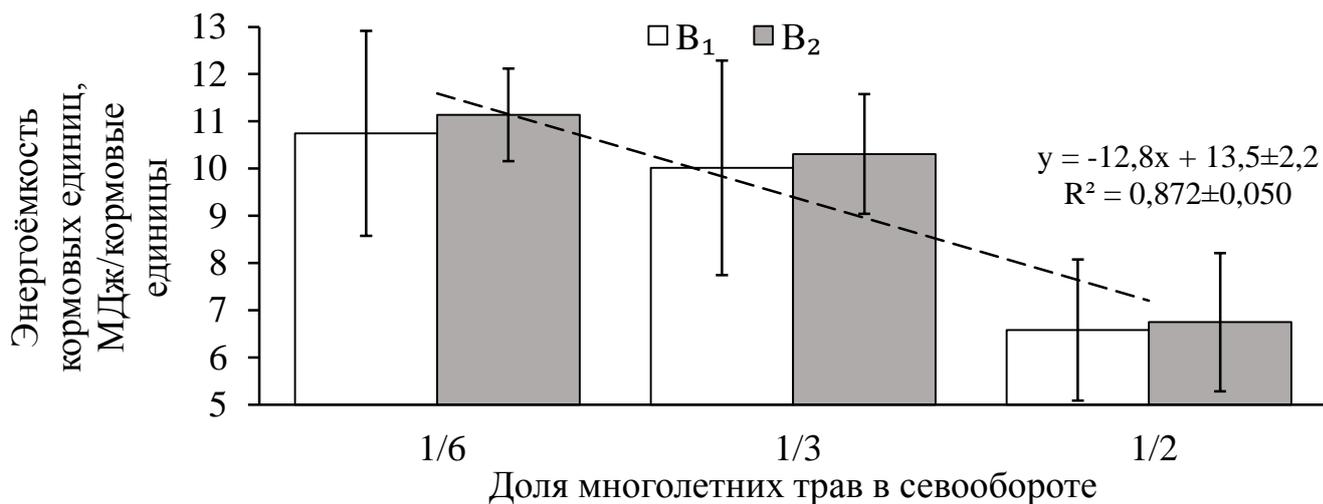


Рисунок 34 – Влияние насыщенности севооборотов многолетними бобово-злаковыми травами на энергоёмкость производства кормовых единиц, 2013-2018 гг.

Для оценки севооборотов рассчитан коэффициент энергетической эффективности (КЭЭ), который во всех вариантах превышал единицу. В среднем по опыту его величина составляла 1,65. Различия между севооборотами одно- (A_1) и двух- (A_2) летним использованием КЛТ были в пределах ошибки опыта ($НСР_{05}(A) = 0,29$, или 17,6 %). Эффективность данных вариантов в среднем составила 1,38. Значительный рост КЭЭ (в среднем на 0,82, или 59,4 %) отмечен после перехода к трёх-летнему использованию (A_3) трав. По сравнению с вариантом A_1B_2 , преимущество севооборота №3 без применения азотных удобрений (A_3B_1) с наибольшим коэффициентом (2,27) составило 1,01 (выше на 80,2 %). Благодаря увеличенному сбору ОЭ от внесения азотных удобрений существенного снижения КЭЭ не отмечалось.

Корреляционный анализ выявил высокую ($73,7 \pm 5,1$ %) связь степени насыщенности многолетними травами севооборотов с КЭЭ (Рисунок 35). Анализ уравнения линейной зависимости свидетельствует, что каждый дополнительный год

выращивания многолетних бобово-злаковых трав увеличивал коэффициент в среднем на 0,45 (от 15,1 % (с $5/6$ до $1/1$ насыщения) до 45,3 % (с 0 до $1/6$ насыщения)). Тем не менее, согласно критерию существенности уравнения по 5 % значимости (0,48) статистически значимого роста КЭЭ следует ожидать только после увеличения насыщенности такими полями более, чем на 17,7 %.

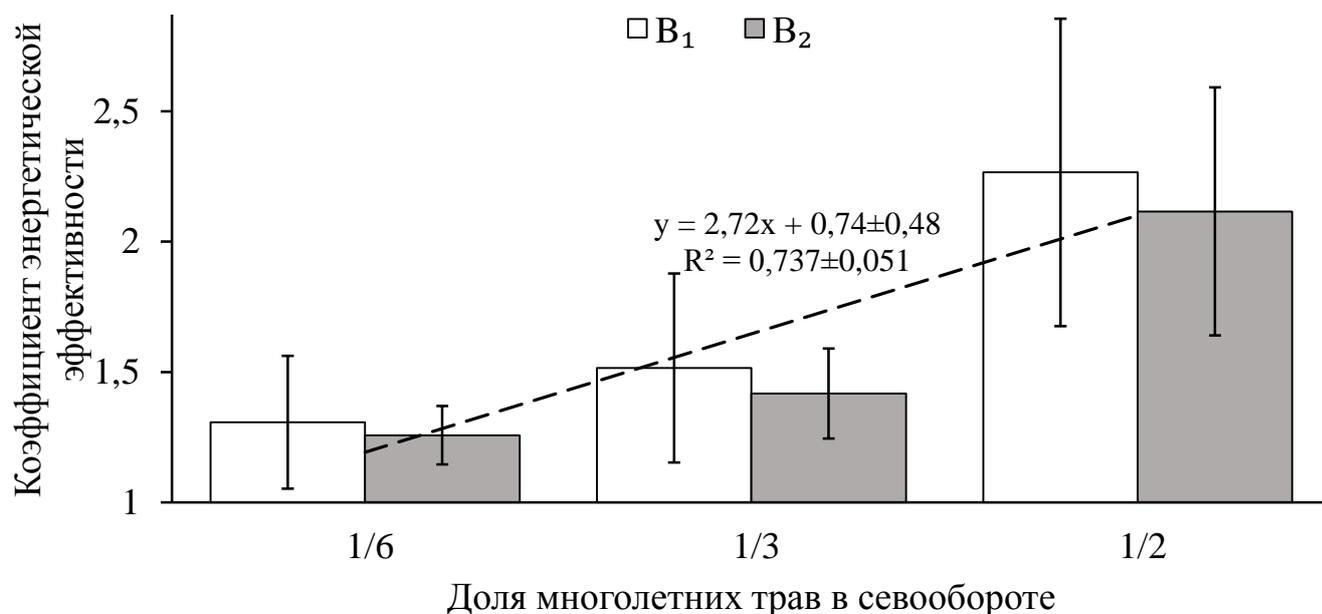


Рисунок 35 – Влияние насыщенности севооборотов многолетними бобово-злаковыми травами на коэффициент энергетической эффективности, 2013-2018 гг.

Согласно исследователям ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока [125; 127], длительное возделывание многолетних трав может повышать КЭЭ на 2-3. Согласно представленной функции, при двухлетнем использовании многолетних трав (A_2), относительно теоретически рассчитанного агрофитоценоза без подобных культур, среднее значение коэффициента было выше в 2,3 раза, при трёхлетнем (A_3) – в 2,89, четырёхлетнем – в 3,5, пятилетнем – в 4,2, шестилетнем (A_4) – в 4,8. Подобный рост КЭЭ произошёл несмотря на невысокую продуктивность КЛТ в изученные вегетационные периоды.

В ходе сравнительной оценки биоэнергетической эффективности кормовых агрофитоценозов с различной насыщенностью многолетними бобово-злаковыми травами севооборот №3 без внесения азотных удобрений (A_3B_1) выделен в качестве наилучшего по всем изученным показателям. Этот вариант в среднем за шесть лет

обеспечивал КЭЭ возделывания культур 2,27, при затратах энергии в общей сумме 121 ГДж/га, а на формирование одного кг СП было израсходовано 26,8 МДж, 1 КЕ – 6,6 МДж. Общие затраты уступали перед другими севооборотами в среднем на 22,7 %, энергообеспеченности КЕ – на 59,9 %, СП – на 75,6 %, а КЭЭ – превышали на 64,5 %. Относительно варианта с наименее оптимальными характеристиками (A_1B_1) эти значения составляли уже 43,0, 68,2, 102,2 и 80,2 % соответственно.

Таким образом, при изучения четырёх кормовых агрофитоценозов было установлено, что степень их насыщения многолетними бобово-злаковыми травами только на показатель КЭЭ производства кормов влияло в положительной зависимости, составившей в среднем 73,7 %. Доля отрицательного эффекта насыщения на энергообеспеченность КЕ находилась на уровне 87,2 %, энергообеспеченности СП – 90,4 %, затрат совокупной энергии при исключении внесения минерального азота (B_1) – 75,1 %, суммарных энергорасходов в условиях применения аммиачной селитры (B_2) – 94,8 %. Рост затрат, во-первых, происходил от увеличения числа полей с одно-двухлетними травами, которые даже без учёта с поукосной культуры были самыми энергоёмкими. Во-вторых, затраты, связанные с внесением азотных удобрений в год применения (около 13,5 ГДж/га в год), были настолько велики, что сопоставлялись с общими затратами, идущими в год использования многолетних бобово-злаковых трав. Несмотря на это, эти затраты полностью компенсировались равнозначным увеличением КЭЭ, энергоёмкости КЕ и СП, вызванные ростом продуктивности возделываемых культур. Таким образом, длительное применение азотных минеральных удобрений в кормовых агрофитоценозах на основе бобово-злаковых трав вполне целесообразно. Отсутствие их внесения также оправдано для существенного сокращения энергозатрат и сохранения эффективности возделывания культур в изученных севооборотах.

Основные показатели биоэнергетической и экономической эффективности в зависимости от насыщенности севооборотов многолетними травами и внесения минеральных удобрений демонстрировали аналогичные тенденции (Таблица 22, прилож. К, L). Тем не менее, второй вид эффективности был менее выраженным, что лучше всего отражался при изучении коэффициента окупаемости (Рисунок 36).

Согласно полученным данным, при увеличении доли многолетних бобово-злаковых трав в агрофитоценозе с $1/6$ до $1/2$ КЭЭ повышался на 78,0 %, а коэффициент окупаемости – всего на 12,5 % до 1,23. При этом доля связи фактора А с формированием величины окупаемости, по сравнению с КЭЭ, была меньше в 2,34 раза. Согласно уравнению, на каждую $1/6$ насыщения многолетними травами коэффициент окупаемости увеличивался в среднем на 0,068 (рентабельность соответственно на 6,8 %).

Таблица 22 – Экономическая эффективность севооборотов, сумма за 2013-2018 гг.

Фактор А	Фактор В	Затраты, тыс. руб./га	Стоимость, тыс. руб./га	Чистая прибыль, тыс. руб./га	Рентабельность, %
A ₁	B ₁	64,3	70,9	6,6	10,3
	B ₂	76,8	85,6	8,8	11,5
	$\bar{x}(A_1)$	70,6	78,3	7,7	10,9
A ₂	B ₁	56,0	61,7	5,8	10,4
	B ₂	67,2	74,5	7,3	10,9
	$\bar{x}(A_2)$	61,6	68,1	6,6	10,6
A ₃	B ₁	59,8	78,3	18,5	30,9
	B ₂	67,3	79,8	12,4	18,4
	$\bar{x}(A_3)$	63,6	79,1	15,5	24,7
\bar{x}	B ₁	60,6	70,3	10,3	17,2
	B ₂	70,4	80,0	9,5	13,6
	\bar{x}	65,2	75,1	9,9	15,4
НСР ₀₅		1,6	7,1	6,2	9,4
НСР ₀₅ (А)		1,2	5,5	4,8	7,4
НСР ₀₅ (В, АВ)		0,9	4,2	H ₀ :d = 0	

Самые низкие значения таких финансовых показателей, как общие затраты (56,0 тыс. руб./га, НСР₀₅ = 1,6 тыс. руб./га), средняя цена реализации (61,7 тыс. руб./га, НСР₀₅ = 7,1 тыс. руб./га) и чистая прибыль (5,8 тыс. руб./га, НСР₀₅ = 6,2 тыс. руб./га) в сумме за период исследований при возделывании культур были в севообороте №2 при внесении N₀P₆₀K₆₀ из-за выпавшей в 2016 году горчицы (A₂B₂). Рентабельность у данного варианта была такого же уровня (в среднем 10,4 % (НСР₀₅ = 9,4 %)), как и у севооборота с самыми высокими затратами (A₁B₂).

Внесение азотных удобрений больше всего повлияло на затраты (НСР₀₅(В)

= 0,9 тыс. руб./га, или 1,4 %) и стоимость ($НСР_{05}(B) = 4,2$ тыс. руб./га, или 5,6 %) производства. В севооборотах, где применялась аммиачная селитра, совокупные затраты были выше на 9,8 тыс. руб./га (16,2 %), а стоимость продукции – на 9,7 тыс. руб./га (13,8 %).

Наибольший синергизм в росте издержек (5,0 тыс. руб./га, $НСР_{05}(AB) = 0,9$ тыс. руб./га) проявился в результате увеличения доли многолетних трав в севообороте с $1/6$ до $1/2$ без применения азотных удобрений ($A_1B_2 \rightarrow A_3B_1$). По валовой стоимости синергизм был ещё выше и составлял 11,0 тыс. руб./га ($НСР_{05}(AB) = 4,2$ тыс. руб./га).

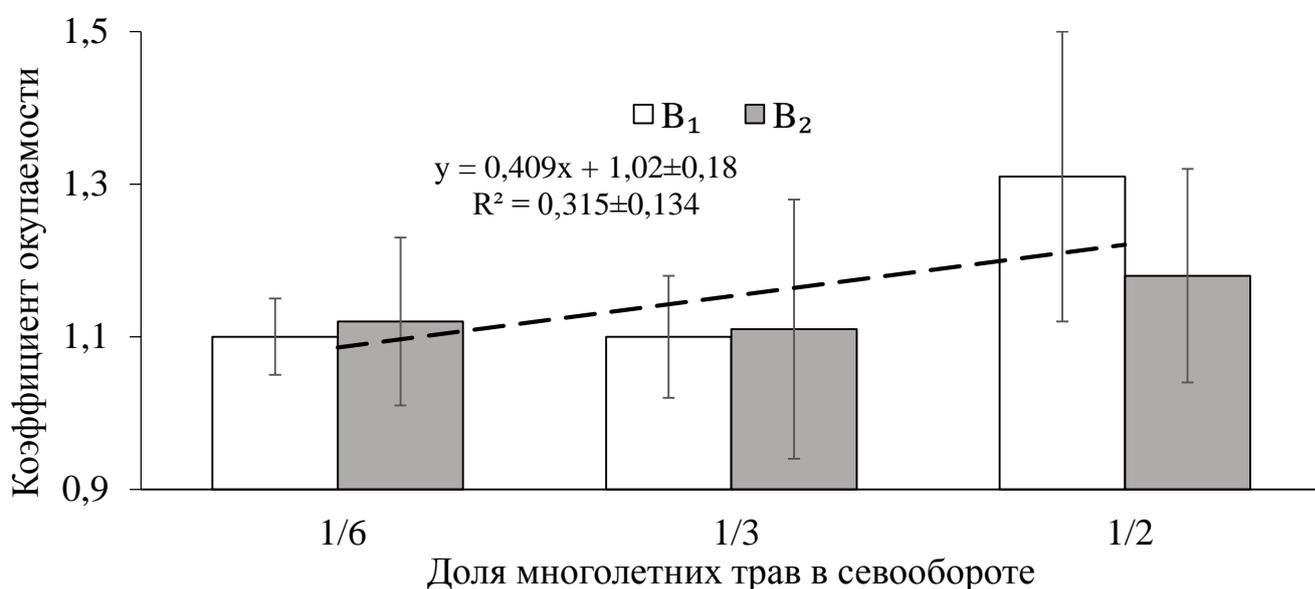


Рисунок 36 – Влияние насыщенности севооборотов многолетними бобово-злаковыми травами на коэффициент окупаемости, 2013-2018 гг.

Самая высокая стоимость зелёной массы отмечена в севообороте №3 при применении $P_{60}K_{60}$ (A_3B_1) с ценой в 115,7 тыс. руб./га, чистой прибылью 54,0 тыс. руб./га, рентабельностью 87,5 %.

Таким образом, самая высокая экономическая эффективность отмечена в севообороте с долей многолетних бобово-злаковых трав $1/2$ при внесении минерального азота (A_3B_1). Данный агрофитоценоз превосходил наименее эффективный вариант (A_1B_2) по стоимости продукции на 10,4 %, чистой прибыли – в 2,8 раза, рентабельности – в 3,0 раза и коэффициенту окупаемости – на 19,1 %. Кроме того, совокупные затраты у варианта A_3B_2 были ниже на 22,1 %.

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 $1/6$ до $1/2$, 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.

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

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. На дерново-подзолистых 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 УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

ЗМ – зелёная масса;

СВ – сухое вещество;

СП – сырой протеин;

ОЭ – обменная энергия;

КЕ – кормовая единица;

ГТК – гидротермический коэффициент;

КЛТ – клеверо-люцерно-тимофеечная травосмесь;

ПКО – пожнивно-корневые остатки;

в отн. – в относительном выражении;

г.п. – год пользования;

КЭЭ – коэффициент энергетической эффективности;

д.в. – действующее вещество;

F_{ϕ} – фактическое значение критерия Фишера

F_{05} и F_{01} – теоритическое значение критерия Фишера соответственно по 5 % и 1 % уровню значимости;

$N_{\text{число}}$ – доза д.в. внесения азота в кг/га, указанная вместо графы «число»;

$P_{\text{число}}$ – доза д.в. внесения фосфора (P_2O_5) в кг/га, указанная вместо графы «число»;

$K_{\text{число}}$ – доза д.в. внесения калия (K_2O) в кг/га, указанная вместо графы «число»;

\bar{x} – среднее значение;

V – коэффициент вариации;

R^2 – коэффициент детерминации;

b_{xy} – коэффициент регрессии;

$s_{\bar{x}}$ – стандартная ошибка среднего значения;

n – количество наблюдаемых делянок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абашев, В.Д. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зернофуражного ячменя и голозерного овса / В.Д. Абашев, Л.М. Козлова, Е.В. Светлакова // Кормопроизводство. – 2015. – № 4. – С. 11-15.
2. Абашев, В.Д. Сидераты в адаптивном земледелии / В.Д. Абашев, Л.М. Козлова // Аграрная Наука Евро-Северо-Востока. – 2005. – № 6. – С. 169-178.
3. Абашев, В.Д. Совершенствование систем земледелия в хозяйствах Кировской области / В.Д. Абашев, Б.П. Мальцев // Вестник РАСХН. – 2002. – № 5. – С. 36-38.
4. Абашев, В.Д. Влияние минеральных удобрений на урожайность зерна ячменя / В.Д. Абашев, Ф.А. Попов, Е.В. Светлакова // Пермский аграрный вестник. – 2016. – № 12. – С. 4-8.
5. Байкалова, Л.П. Перспективные бобово-злаковые травосмеси многолетних трав для кормопроизводства Красноярского края / Л.П. Байкалова, Д.В. Кривоногова, Ю.Ф. Едигеичев // Вестник КрасГАУ. – 2017. – Т. 134. – № 11. – С. 20-26.
6. Баланс элементов питания в севооборотах в условиях биологизированного адаптивно-ландшафтного земледелия / Л.М. Козлова [и др.] // Таврический Вестник Аграрной Науки. – 2021. – № 3 (27). – С. 84-94.
7. Беляк, В.Б. Кормовые севообороты Пензенской области / В.Б. Беляк, А.Д. Ишмуратова, В.А. Прахов // Кормопроизводство. – 1998. – № 9. – С. 9-11.
8. Благовещенский, Г.В. Энерго-протеиновый потенциал трав и фуражных культур / Г.В. Благовещенский, В.Д. Штырхун, В.В. Конанчук // Кормопроизводство. – 2016. – № 2. – С. 21-23.
9. Болдырь, Д.А. Сохранение плодородия почвы за счет увеличения поступления органического вещества в севооборотах / Д.А. Болдырь, В.М. Протопопов, Г.О. Романова // Научно-агрономический журнал. – 2013. – Т. 2. – № 93. – С. 28-32.
10. Борисова, Е.Е. Роль в севооборотах многолетних трав / Е.Е. Борисова // Вестник НГИЭИ. – 2015. – Т. 8. – № 51. – С. 12-19.
11. Важнейший фактор биологизации земледелия – кормопроизводство / В.М. Косолапов [и др.] // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство:

Сборник научных трудов ФГБНУ «ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса». – М.: Угрешская типография, 2015. – Т. 5 (53). – С. 523-527.

12. Валиахметова, Ю.З. Продуктивность и азотфиксирующая способность многолетних бобовых трав при разных уровнях минерального питания на выщелоченных черноземах лесостепи Зауралья / Ю.З. Валиахметова, Л.Ф. Вахитова // Известия ОГАУ. – 2006. – Т. 9. – № 1. – С. 29-32.

13. Ван Мансвелт, Я.Д. Органическое сельское хозяйство: принципы, опыт и перспективы / Я.Д. Ван Мансвелт, С.К. Темирбекова // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – Т. 52. – № 3. – С. 478-486.

14. Влияние возрастающих доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимой ржи / В.Д. Абашев [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2014. – Т. 4. – № 41. – С. 26-30.

15. Влияние предшественников озимой ржи на урожайность, показатели почвенного плодородия и экономическую эффективность / Л.М. Козлова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 6. – С. 42-44.

16. Водяников, В.Т. Методы оценки уровня эффективности использования энергоресурсов в сельском хозяйстве / В.Т. Водяников // Агроинженерия. – 2012. – Т. 52. – № 1. – С. 85-88.

17. Войтович, Н.В. Изменение физиологических параметров сортов яровой пшеницы от технологии их возделывания / Н.В. Войтович, В.М. Никифоров // Агрохимический Вестник. – 2019. – № 3. – С. 49-53.

18. Волошин, В.Н. Ботанический состав и продуктивность луговых травостоев на серых лесных почвах / В.Н. Волошин // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 1. – С. 62-66.

19. Воспроизводство плодородия почв, продуктивность и энергетическая эффективность севооборотов / А.П. Карабутов [и др.] // Земледелие. – 2019. – № 2. – С. 3-7.

20. Вражнов, А.В. Биоэнергетическая оценка севооборотов в лесостепных агроландшафтах Южного Урала / А.В. Вражнов, Л.П. Шаталина // Вестник Российской Академии Сельскохозяйственных Наук. – 2012. – № 1. – С. 66-69.

21. Галеев, Р.Ф. Оценка действия приёмов биологизации и химизации на продуктивность кормового севооборота в лесостепи Западной Сибири / Р.Ф. Галеев, О.Н. Шашкова // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33. – № 10. – С. 22-25.

22. Глущенко, Д.П. Экономическая и энергетическая оценка севооборотов / Д.П. Глущенко // Кормопроизводство. – 1998. – № 10. – С. 2-5.

23. Гогмачадзе, Г.Д. Севообороты для адаптивно-ландшафтных систем земледелия / Г.Д. Гогмачадзе, Л.М. Козлова // Достижения науки и техники АПК. – 2003. – № 6. – С. 19-21.

24. Гомчадзе, Г.Д. Влияние полевых культур на накопление органического вещества в почве / Г.Д. Гомчадзе, Л.М. Козлова // Достижения науки и техники АПК. – 2004. – № 7. – С. 26-27.

25. Гомчадзе, Г.Д. Энергетическая оценка севооборотов в адаптивном земледелии / Г.Д. Гомчадзе, Л.М. Козлова // Достижения науки и техники АПК. – 2004. – № 9. – С. 14-15.

26. Гребенников, В.Г. Подсев многолетних трав в обработанную дернину как метод восстановления кормовой продуктивности угодий / В.Г. Гребенников, И.А. Шипилов, О.В. Хонина // Сборник научных трудов ВНИИОК. – 2017. – № 10. – С. 94-100.

27. Гребенников, В.Г. Энергосберегающая технология выращивания многолетних трав на деградированных каштановых почвах сухостепной зоны / В.Г. Гребенников, И.А. Шипилов, О.В. Хонина // Животноводство и кормопроизводство. – 2019. – Т. 102. – № 2. – С. 163-173.

28. Григорьев, К.В. Энергетическая оценка возделывания донника желтого под покровом ранних яровых зерновых и поздних кормовых культур / К.В. Григорьев, Л.Г. Шашкаров // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства Мосоловские чтения. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2017. – Т. XIX. – С. 61-64.

29. Давыдова, Н.В. Оптимизация фитосанитарного состояния посевов кормовых бобов в лесостепи Западной Сибири : автореф. дис. ... кандидата с.-х. наук / Н.В. Давыдова. – Новосибирск: Новосибирский ГАУ, 2012. – 16 с.

30. Действие и последствие органических удобрений в севообороте / С.И. Новосёлов [и др.] // Агрохимия. – 2013. – № 8. – С. 30-37.

31. Делягин, В.Н. Оценка энергетической эффективности сельскохозяйственного производства с использованием методов имитационного моделирования / В.Н. Делягин, Н.И. Делягина // Информационные технологии, системы и приборы в АПК: материалы 7-й Международной научно-практической конференции «АГРОИНФО-2018». – р.п. Краснообск: Сибирский федеральный научный центр агробiotехнологий РАН, 2018. – С. 178-182.

32. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

33. Дронова, Т.Н. Инновационная технология возделывания поливидовых посевов многолетних трав на орошаемых землях / Т.Н. Дронова, Н.И. Бурцева, С.Ю. Небезин // Земледелие. – 2014. – № 8. – С. 3-6.

34. Дьяченко, В.В. Высокоурожайные бобово-мятликовые травосмеси для агроклиматических условий юго-западной части Центрального региона / В.В. Дьяченко, А.В. Дронов, О.В. Дьяченко // Земледелие. – 2016. – № 7. – С. 31-35.

35. Евдокимова, М.А. Влияние предшественников и минеральных удобрений на урожайность ярового ячменя / М.А. Евдокимова // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2015. – Т. 1. – № 29. – С. 11-14.

36. Завьялова, Н.Е. Методические подходы к изучению гумусного состояния пахотных почв / Н.Е. Завьялова // Плодородие. – 2006. – Т. 1. – № 28. – С. 11-15.

37. Заикин, В.П. Научные основы совершенствования специализированных полевых севооборотов на серых лесных почвах Волго-Вятского региона Нечерноземной зоны РСФСР : автореф. дис. ... доктора с.-х. наук / В.П. Заикин. – М.: Московская ордена ленина и ордена трудового красного знамени сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, 1991. – 32 с.

38. Замятин, С.А. Влияние культур севооборота на среднегодовое поступление растительных остатков за ротацию севооборотов : Сельскохозяйственные науки. Экономические науки / С.А. Замятин, В.М. Изместьев // Вестник Марийского государственного университета. – 2016. – Т. 1. – № 5. – С. 18-21.

39. Замятин, С.А. Поступление органического вещества почвы в полевых севооборотах в 2012 г. / С.А. Замятин // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы международной научно-практической конференции Мосоловские чтения. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2013. – Т. XV. – С. 28-30.

40. Зарьянова, З.А. Экологическая оценка различных видов и сортов многолетних трав в условиях Орловской области / З.А. Зарьянова, С.В. Кирюхин, А.А. Осин // Земледелие. – 2016. – № 4. – С. 39-47.

41. Земледелие: учебник / ред. П.И. Никончик, В.Н. Прокопович. – Минск: ИВЦ Минфина, 2014. – 584 с.

42. Значение органического вещества почвы в современной земледелии / Л.М. Козлова [и др.] // Современные проблемы устойчивого конструирования агроландшафтов и ресурсосберегающие технологии в сельском хозяйстве Северо-Восточного региона европейской части России. – Пермь: ОТ и ДО, 2009. – С. 77-81.

43. Золотарев, В.Н. Состояние травосеяния и перспективы развития семеноводства многолетних трав в России и Волго-Вятском регионе / В.Н. Золотарев, В.М. Косолапов, Н.И. Переправо // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2017. – Т. 1. – № 56. – С. 28-34.

44. Зубкова, Т.А. Эффект последействия минеральных удобрений в почвах Адыгеи / Т.А. Зубкова, Ф.Ю. Схашок, Ю.Н. Ашинов // Вестник АГАУ. – 2012. – № 10. – С. 5-8.

45. Ивенин, А.В. Продуктивность озимых в зависимости от предшественника, приема и срока вспашки многолетних трав на светло-серых лесных почвах центральной части Волго-Вятского региона : автореф. дис. ... кандидата с.-х. наук / А.В. Ивенин. – Балашиха: Рос. гос. аграр. заоч. ун-т, 2004. – 18 с.

46. Изменение климатических условий в Республике Марий Эл / В.М. Измestьев [и др.] – Йошкар-Ола: Стринг, 2011. – 34 с.

47. 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 / 0,3 п.л. – Солёное Займище: Прикаспийский НИИ аридного земледелия, 2017. – С. 523-527.

48. Измestьев, В.М. Эффективность минеральных удобрений в кормовых севооборотах с многолетними агрофитоценозами / В.М. Измestьев, Е.А. Соколова, А.К. Свечников // Инновационные технологии адаптивно-ландшафтном земледелии / 0,25 п.л. – Суздаль: ПресСто, 2015. – С. 273-276.

49. Исаева, Е.И. Люпин узколиственный и соя как предшественники ячменя в севообороте / Е.И. Исаева, А.И. Артюхов // Земледелие. – 2016. – № 1. – С. 5-8.

50. Исаева, Е.И. Возделывание люпина и сои в короткоротационных севооборотах как фактор интенсификации кормопроизводства / Е.И. Исаева, О.С. Педосич // Адаптивное кормопроизводство. – 2018. – № 2. – С. 6-10.

51. Каминский, В.Ф. Биологический круговорот органического вещества и элементов питания в короткоротационных севооборотах / В.Ф. Каминский, Литвинов Д.В., Н.Л. Шаронова // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 3. – С. 11-14.

52. Каракчиева, Е.Ф. Создание травосмесей для повышения продуктивности и питательной ценности в полевом кормопроизводстве в условиях Республики Коми / Е.Ф. Каракчиева, А.Ю. Лобанов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2017. – Т. 59. – № 4. – С. 30-32.

53. Касаткина, Н.И. Особенности роста и развития многолетних трав на основе клевера лугового тетраплоидного / Н.И. Касаткина, Ж.С. Нелюбина // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019. – Т. 20. – № 3. – С. 247-255.

54. Кирдин, В.Ф. Агротехнологии противодействуют засухе / В.Ф. Кирдин // Техника и оборудование для села. – 2011. – № 8. – С. 14-16.

55. Козлова, Л.М. Производство многолетних и однолетних бобовых культур в севооборотах для адаптивного земледелия / Л.М. Козлова, Н.А. Вылегагина // Система агропромышленного производства зернобобовых культур и многолетних бобовых трав: Материалы науч.-практ. конф. – Киров, 2006. – С. 86-92.

56. Козлова, Л.М. Промежуточные культуры в полевых севооборотах Кировской области / Л.М. Козлова, А.В. Денисова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2014. – № 5 (42). – С. 33-37.

57. Козлова, Л.М. Совершенствование севооборотов для сохранения плодородия почвы и увеличения их продуктивности в условиях биологической интенсификации / Л.М. Козлова, Е.Н. Носкова, Ф.А. Попов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019. – Т. 20. – № 5. – С. 467-477.

58. Козлова, Л.М. Совершенствование полевых севооборотов с целью получения высококачественных кормов в адаптивном земледелии в Кировской области / Л.М. Козлова, Ф.А. Попов // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сб. науч. тр. – М.: Угрешская типография, 2015. – Т. Вып. 5. – С. 134-139.

59. Козлова, Л.М. Продуктивность и баланс основных питательных элементов в севооборотах при различных уровнях интенсификации / Л.М. Козлова. – 2019. – Т. 33. – № 1. – С. 6-9.

60. Козлова, Л.М. Трансформация органического вещества агродерново-подзолистых почв Евро-Северо-Востока / Л.М. Козлова, Н.Е. Рубцова, Н.Н. Соболева // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2015. – Т. 6. – № 49. – С. 47-53.

61. Кокурин, Т.П. Методические указания по расчету экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских работ для условий Северо-Востока европейской части РФ / Т.П. Кокурин, Н.Н. Прохорова. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2008. – 66 с.

62. Колобов, Е.В. Микробиологическая активность почвы как фактор оценки биологизированных севооборотов / Е.В. Колобов, П.А. Постников // Аграрный вестник Урала. – 2012. – Т. 2. – № 94. – С. 4-6.

63. Кормопроизводство, рациональное природопользование и агроэкология / В.М. Косолапов [и др.] // Кормопроизводство. – 2016. – № 8. – С. 3-7.

64. Кормопроизводство: системообразующая роль и основные направления совершенствования в Центрально-Черноземной полосе России / А.С. Шпаков [и др.] – Москва-Воронеж: Воронежская областная типография - издательство им. Е. А. Болховитинова, 2002. – 209 с.

65. Косолапов, В.М. В центре внимания - селекция и семеноводство злаковых трав / В.М. Косолапов, С.И. Костенко, И.А. Трофимов // Кормопроизводство. – 2012. – № 11. – С. 3-5.

66. Косолапова, А.И. Агрэкологическая роль севооборотов в обеспечении устойчивого функционирования ландшафтов / А.И. Косолапова // Агрэкологические аспекты адаптивно-ландшафтного земледелия и органическое вещество пахотных почв Предуралья. – Пермь: ПОНИЦАА, 2006. – С. 43-48.

67. Кузьминых, А.Н. Формирование викоовсяных агроценозов для получения зеленого корма и фуражного зерна / А.Н. Кузьминых // Кормопроизводство. – 2010. – № 5. – С. 14-16.

68. Лагуткин, Н.В. Разумное земледелие / Н.В. Лагуткин. – Пенза, 2013. – 116 с.

69. Ларетин, Н.А. Организация специализированного кормопроизводства в животноводческих хозяйствах молочного направления российского Нечерноземья / Н.А. Ларетин // Вестник ВНИИМЖ. – 2015. – Т. 2. – № 18. – С. 169-177.

70. Лыскова, И.В. Продуктивность клевера лугового на дерново-подзолистой почве при различной обеспеченности подвижным фосфором и степени кислотности / И.В. Лыскова, Т.В. Лыскова, Ф.А. Попов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019. – Т. 20. – № 4. – С. 368-377.

71. Марчук, Е.В. Взаимодействие удобрений и биологического азота в севооборотах на легких дерново-подзолистых почвах / Е.В. Марчук // Агрехимический вестник. – 2013. – № 4. – С. 29-31.

72. Марьин, Г.С. Биоэнергетическая оценка фитосанитарного состояния агроэкосистем / Г.С. Марьин, Н.С. Алметов, О.Г. Свинина. – Йошкар-Ола: МарИПКА, 1999. – 39 с.

73. Медведева, Е.В. Плодородие чернозёма выщелоченного при систематическом применении минеральных удобрений и периодическом известковании / Е.В. Медведева, Л.Н. Прокина // Научные основы семеноводства и агротехнологий сельскохозяйственных культур в условиях Евро-Северо-Востока РФ: науч.-практ. конф. (14–15 июня 2007 г.). – Саранск: Ковылкинская районная типография, 2007. – С. 235-242.

74. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / Ю.К. Новосёлов [и др.] – М.: типография Россельхозакадемии, 1997. – 156 с.

75. Методическое руководство по организации специализированного кормопроизводства в специализированных животноводческих хозяйствах по производству молока и мяса в НЗ России / В.М. Косолапов [и др.] – М.: РАСХН, 2014. – 57 с.

76. Микроэлементы в интенсивных технологиях производства зерновых культур / Н.Ю. Гармаш [и др.] // Агротехнический вестник. – 2011. – № 5. – С. 14-16.

77. Мосина, Л.В. Экологическая оценка влияния органических и минеральных удобрений на микрофлору дерново-подзолистой почвы и продуктивность агроценозов в экстремальных погодных условиях / Л.В. Мосина, Г.Е. Мёрзлая // Известия ТСХА. – 2013. – № 5. – С. 5-18.

78. Мудрых, Н.М. Биологизация земледелия - основа сохранения плодородия почв Нечерноземной зоны / Н.М. Мудрых // Вестник АГАУ. – 2017. – Т. 9. – № 155. – С. 28-34.

79. Мудрых, Н.М. Опыт использования растительных остатков в почвах Нечерноземной зоны России (обзор) / Н.М. Мудрых, И.А. Самофалова // Пермский аграрный вестник. – 2017. – Т. 1. – № 17. – С. 88-97.

80. Нелюбина, Ж.С. Агротифоценозы многолетних бобовых и мятликовых трав в Среднем Предуралье / Ж.С. Нелюбина, И.Ш. Фатыхов, Н.И. Касаткина. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. – 145 с.

81. Низкозатратные технологии производства растительного белка и воспроизводства плодородия почв / Г.В. Благовещенский [и др.] // Информационный бюллетень НТС МСХА РФ. – 2000. – С. 3-30.

82. Никончик, П.И. Севооборот и воспроизводство плодородия почвы. Результаты 30-летнего стационарного опыта / П.И. Никончик // Известия ТСХА. – 2012. – № 3. – С. 88-98.

83. Олехов, В.Р. Количество ПКО клевера лугового 2 г.п. и содержание в них азота / В.Р. Олехов, Н.М. Пьянкова, М.М. Сенокосов // Проблемы аграрного сектора Южного Урала и пути их решения. – Челябинск: ЧГАУ, 2008. – С. 171-173.

84. Оптимизация режима использования клевера лугового как фактор повышения продуктивности травостоя в специализированных севооборотах / А.Ч. Скируха [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2014. – Т. 3. – № 94. – С. 14-17.

85. Основные виды и сорта кормовых культур: итоги научной деятельности Центрального селекционного центра / В.М. Косолапов [и др.] // Кормопроизводство. – 2016. – Основные виды и сорта кормовых культур. – № 11. – С. 29-34.

86. Особенности возделывания эспарцета на семена на Воронежской опытной станции по многолетним травам / И.С. Иванов [и др.] // Адаптивное кормопроизводство. – 2018. – № 1. – С. 58-71.

87. Особенности минерального питания клевера красного (*Trifolium pratense* L.) / А.Г. Ступаков [и др.] // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: естественные науки. – 2012. – № 9 (128). – С. 69-71.

88. Оценка влияния культур и звеньев севооборотов на количество органического вещества, поступающего в почву с растительными остатками, на черноземах южных Оренбургской области / А.В. Халин [и др.] // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. – 2016. – № 1. – С. 17.

89. Оценка кормовой продуктивности перспективных селекционных образцов многолетних клеверов и лядвенца рогатого / М.Ю. Новосёлов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – № 2. – С. 25-28.

90. Павликова, Е.В. Оценка влияния полевых севооборотов на плодородие почвы и их продуктивность в лесостепной зоне Среднего Поволжья / Е.В. Павликова, О.А. Ткачук // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3.

91. Павлова, О.В. Устойчивость травосмесей многолетних трав к засорению сорняками на разных фонах минерального питания в условиях Приморского края / О.В. Павлова, С.В. Минвалиев // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 7. – С. 135-140.

92. Павлюченко, А.У. Плодородие почвы и продуктивность ячменя под воздействием удобрений в кормовом севообороте / А.У. Павлюченко, О.В. Гриднева, Л.А. Пискарева // Земледелие. – 2014. – № 7. – С. 18-20.

93. Пивень, М.Г. Сравнительная оценка разных сортов клевера лугового при возделывании на кормовые и семенные цели / М.Г. Пивень, А.Г. Михайлова, Н.А. Донских // Известия СПбГАУ. – 2020. – № 60. – С. 9-16.

94. Пинаева, М.И. Влияние предшественника и доз минеральных удобрений на урожайность озимой ржи при возделывании на дерново-подзолистой почве / М.И. Пинаева, Л.М. Михайлова, Ю.А. Акманаева // Пермский аграрный вестник. – 2017. – Т. 3. – № 19. – С. 101-106.

95. Плодородие почвы: настоящее и будущее нашего земледелия / Н.А. Зеленский [и др.] // Плодородие почвы. – 2018. – № 5. – С. 4-7.

96. Повышение эффективности производства продукции молочного и мясного скотоводства на основе совершенствования технологии кормления / И.А. Тихомиров [и др.] // Вестник ВНИИМЖ. – 2017. – Т. 25. – № 1. – С. 70-71.

97. Попов, Ф.А. Совершенствование технологий возделывания овса в условиях Кировской области / Ф.А. Попов, Л.М. Козлова, Е.Н. Носкова // Аграрная Наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – № 2 (63). – С. 64-68.

98. Поражение ячменя корневой гнилью и урожайность в различных севооборотах / В.А. Максимов [и др.] // Вестник АГАУ. – 2011. – № 5. – С. 18-20.

99. Привалов, Ф.И. Стационарному опыту по севооборотам 40 лет: основополагающие разработки для земледельческой науки и практики Беларуси / Ф.И. Привалов, А.Ч. Скируха // Весці нацыянальнай акадэмп навук Беларусі. Сэрыя аграрных навук. – 2018. – Т. 56. – № 1. – С. 38-50.

100. Привалов, Ф.И. История земледельческой науки Беларуси / Ф.И. Привалов, В.Н. Шлапунов, С.И. Гриб // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. – 2014. – № 2. – С. 5-17.

101. Продуктивность озимой пшеницы под влиянием минеральных удобрений и предшественников / А.Г. Ступаков [и др.] // Инновации в АПК: Проблемы и перспективы. – 2020. – № 1 (25). – С. 184-192.

102. Продуктивность севооборотов в зависимости от системы внесения минеральных удобрений / П.С. Семешкина [и др.] // Вестник ОрелГАУ. – 2017. – Т. 4. – № 67. – С. 57-61.

103. Продуктивность фестулолиума в чистых и смешанных посевах в условиях европейского севера России / Е.А. Тяпугин [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31. – № 5. – С. 24-27.

104. Роль бобовых культур в земледелии Кировской области / А.А. Завалин [и др.] // Агрехимия. – 2002. – № 6. – С. 66-70.

105. Роль многолетних трав в создании устойчивой кормовой базы при конвейерном использовании / Е.Н. Павлючик [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019. – Т. 20. – № 3. – С. 237-245.

106. Роль предшественника в формировании урожайности колосовых в севооборотах с высокой концентрацией зерновых культур / Л.Н. Грибанов [и др.] // Земледелие и селекция в Беларуси: сб. науч. тр. – 2015. – № 51. – С. 13-17.

107. Роль приёмов основной обработки почвы при возделывании ярового ячменя / С.И. Воронов [и др.] // Земледелие. – 2020. – № 2. – С. 24-26.

108. Румянцев, Ф.П. Научное обоснование использования зеленого удобрения в севооборотах на серых лесных почвах Волго-Вятского экономического региона : автореф. дис. ... доктора с.-х. наук / Ф.П. Румянцев. – М.: Нижегородская ГСХА, 2000. – 42 с.

109. Свечников, А.К. Продуктивность бессменного посева козлятничко-кострцевой 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.

110. 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.

111. 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.

112. 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.

113. Селекция гибридов озимой ржи на основеция ЦМС типа Пампа / А.А. Гончаренко [и др.] // Российская Сельскохозяйственная Наука. – 2021. – № 2. – С. 14-19.

114. Селекция и семеноводство многолетних трав в Центрально-Черноземном регионе России / И.М. Шатский [и др.] – Воронеж: Воронежская областная типография, 2016. – 236 с.

115. Скируха, А.Ч. Рациональный подбор культур в системе севооборотов как резерв увеличения производства кормов и растительного белка / А.Ч. Скируха // Земледелие и защита растений. – 2017. – Т. 1. – № 110. – С. 12-15.

116. Состояние и перспективы производства кормов на полевых землях Российской Федерации / Л.С. Орстик [и др.] – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 108 с.

117. Станков, Н.З. Корневая система полевых культур / Н.З. Станков. – М.: Колос, 1964. – 280 с.

118. Сысуев, В.А. Адаптивная стратегия устойчивой продуктивности многолетних трав на Северо-Востоке европейской части России / В.А. Сысуев, В.А. Фигурин // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 12. – С. 79-82.

119. Сычев, В.Г. Агрохимические аспекты получения высококачественного зерна в России / В.Г. Сычев, Н.З. Милащенко, С.А. Шафран // Плодородие. – 2018. – № 1 (100). – С. 18-19.

120. Сюбаева, А.О. Урожайность и питательность смешанных озимых агрофитоценозов, возделываемых в Нижегородской области / А.О. Сюбаева // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – Т. 63. – № 2. – С. 42-49.

121. Тимирязев, К.А. Сочинения. Т. 3 / К.А. Тимирязев. – М.: Сельхозгиз, 1936. – 451 с.

122. Тюлин, В.А. Видовое разнообразие луговых травостоев / В.А. Тюлин, В.П. Сулягин // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 11-2. – С. 318-323.

123. Уланов, Н.А. Влияние атмосферных осадков на эффективность шлюзования в условиях выработанных торфяников / Н.А. Уланов // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство. – М.: ООО «Угреша Т», 2020. – Т. 24(72). – С. 44-48.

124. Уткина, Е.И. Зимостойкость озимой ржи: проблемы и решения / Е.И. Уткина, Л.И. Кедрова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – № 1 (62). – С. 42-44.

125. Фигурин, В.А. Выращивание многолетних трав на корм / В.А. Фигурин. – Киров: Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 2013. – 188 с.

126. Фигурин, В.А. Продуктивные травосмеси на почвах с сильной степенью кислотности / В.А. Фигурин // Земледелие. – 2014. – № 2. – С. 30-32.

127. Фигурин, В.А. Последствие режимов использования травосмеси лядвенца рогатого с тимофеевкой луговой на дерново-подзолистой сильноокислой

почве / В.А. Фигурин, Н.П. Сунцова, А.П. Кислицына // Пермский аграрный вестник. – 2018. – № 2 (22). – С. 100-106.

128. Фитосанитарное оздоровление агроценозов ярового ячменя: методические рекомендации. – Новосибирск: СибНИИЗХим, 2008. – 36 с.

129. Фосфатное состояние дерново-подзолистых почв Удмуртии и проблема фосфорного питания сельскохозяйственных культур / А.С. Башков [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – Т. 1. – № 50. – С. 11-20.

130. Чеботарёв, Н.Т. Динамика плодородия и продуктивности дерново-подзолистой почвы под действием длительного применения удобрений в условиях Республики Коми / Н.Т. Чеботарёв, А.А. Юдин // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – № 2. – С. 11-13.

131. Чухина, О.В. Изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы при применении удобрений / О.В. Чухина // Агрохимический вестник. – 2013. – № 3. – С. 11-14.

132. Шаманин, А.А. Малораспространенные кормовые культуры для формирования высококачественных кормовых агроценозов в условиях северного региона России / А.А. Шаманин, Л.А. Попова, В.В. Гинтов // Аграрный вестник Урала. – 2019. – № 4 (183). – С. 40-47.

133. Шашко, А.В. Возделывание многокомпонентных бобово-злаковых травяных смесей на загрязненных радионуклидами торфяных почвах белорусского Полесья : Серия природо-доведческих наук / А.В. Шашко, Л.Н. Шашко // Вестник Полесского государственного университета. – 2015. – № 1. – С. 31-35.

134. Шевченко, В.А. Продуктивность смешанных посевов зерновых и бобовых культур в зависимости от доли их семян в норме высева / В.А. Шевченко, П.Н. Просвирик // Кормопроизводство. – 2012. – № 4. – С. 13-15.

135. Ширяев, А.В. Накопление пожнивно-корневых остатков озимой пшеницы в зависимости от удобрений, предшественников и способа обработки почвы / А.В. Ширяев // Вестник Курской ГСХА. – 2015. – № 8. – С. 145-149.

136. Шпаков, А.С. Основные факторы эффективности и значение полевого кормопроизводства в природоохранных системах земледелия / А.С. Шпаков, В.Т. Воловик // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство. – М.: Уг-решская типография, 2013. – С. 56-65.

137. Шрамко, Н.В. Роль биологизированных севооборотов в изменении содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах Верхневолжья / Н.В. Шрамко, Г.В. Вихорева // Земледелие. – 2016. – № 1. – С. 14-16.

138. Шрамко, Н.В. Севооборот - основа повышения плодородия дерново-подзолистых почв / Н.В. Шрамко, И.Г. Мельцаев, Г.В. Вихорева // Земледелие. – 2008. – № 1. – С. 20-21.

139. Щеклеина, Л.М. Мониторинг болезней озимой ржи в Кировской области и возможные направления селекции на иммунитет / Л.М. Щеклеина // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2020. – Т. 21. – № 2. – С. 124-132.

140. Щенникова, И.Н. Экологическая стабильность сортов и селекционных линий ярового ячменя / И.Н. Щенникова, Л.П. Кокина, И.Ю. Зайцева // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». – 2018. – Т. 4. – № 3 (15). – С. 85-90.

141. Эколого-географический атлас Республики Марий Эл. Климат [Электронный ресурс]. – URL: <https://geo12.pf/atlas/2-4-климат/>.

142. Эседуллаев, С.Т. Сравнительная продуктивность и питательная ценность одновидовых и смешанных посевов фестулолиума и традиционных многолетних трав на дерново-подзолистых почвах Верхневолжья / С.Т. Эседуллаев // Кормопроизводство. – 2018. – № 4. – С. 21-25.

143. Эффективность и оптимизация систем удобрения в севооборотах с разной долей многолетних трав на дерново-подзолистой почве центра Нечерноземной зоны России / В.В. Конончук [и др.] // Агрехимия. – 2020. – № 7. – С. 36-46.

144. Юдина, Е.А. Использование фестулолиума и райграса пастбищного для создания пастбищных агрофитоценозов / Е.А. Юдина, Н.Ю. Коновалова // Молочнохозяйственный вестник. – 2019. – Т. 34. – № 2. – С. 72-81.

145. Заикин, В.П. Использование многолетнего люпина для повышения плодородия дерново-подзолистых и серых лесных почв / В.П. Заикин // Проблемы повышения плодородия дерново-подзолистых почв и внедрение в производство интенсивных технологий возделывания с.-х. культур. – Йошкар-Ола, 1991. – С. 62-65.
146. Лошаков, В.Г. Севооборот как агроэкологическая основа систем земледелия / В.Г. Лошаков // Научные основы систем земледелия и их совершенствование. – Н. Новгород, 2007. – С. 10-14.
147. Прянишников, Д.Н. Избранные сочинения. Тт. 1-3 / Д.Н. Прянишников. – М.: Колос, 1965. – 639 с.
148. Humusbilanzierung. Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland / T. Ebertseder [et al.] – Speyer, Germany: VDLUFA, 2014. – 21 p.
149. A 60-years old field experiment demonstrates the benefit of leys in the crop rotation / Z. Zhou [et al.] // Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science. – 2019. – Vol. 69. – № 1. – P. 36-42.
150. A Comparative Nitrogen Balance and Productivity Analysis of Legume and Non-legume Supported Cropping Systems: The Potential Role of Biological Nitrogen Fixation / P.P.M. Iannetta [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2016. – Vol. 7. – P. 1700.
151. A cropping system assessment framework—Evaluating effects of introducing legumes into crop rotations / M. Reckling [et al.] // European Journal of Agronomy. – 2016. – Vol. 76. – P. 186-197.
152. Advances in understanding, models and parameterizations of biosphere-atmosphere ammonia exchange / C.R. Flechard [et al.] // Biogeosciences. – 2013. – Vol. 10. – № 7. – P. 5183-5225.
153. Agegnehu, G. Cropping sequence and nitrogen fertilizer effects on the productivity and quality of malting barley and soil fertility in the Ethiopian highlands / G. Agegnehu, B. Lakew, P.N. Nelson // Archives of Agronomy and Soil Science. – 2014. – Vol. 60. – № 9. – P. 1261-1275.
154. Agro-energy efficiency of improved technologies for the production of pasture fodder in upland meadows of the Central non-Chernozem region / A.A. Kutuzova [et

al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 901. – № 1. – P. 012048.

155. Alfalfa cut at sundown and harvested as baleage increases bacterial protein synthesis in late-lactation dairy cows / A.F. Brito [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2009. – Vol. 92. – № 3. – P. 1092-1107.

156. Annicchiarico, P. Feed legumes for truly sustainable crop-animal systems / P. Annicchiarico // Italian Journal of Agronomy. – 2017. – Vol. 12. – № 2. – P. 151-160.

157. Bacterial endophytes mediate positive feedback effects of early legume termination times on the yield of subsequent durum wheat crops / C. Yang [et al.] // Canadian Journal of Microbiology. – 2012. – Vol. 58. – № 12. – P. 1368-1377.

158. Barsila, S.R. The fodder oat (*Avena sativa*) mixed legume forages farming: Nutritional and ecological benefits / S.R. Barsila // Journal of Agriculture and Natural Resources. – 2018. – Vol. 1. – The fodder oat (*Avena sativa*) mixed legume forages farming. – № 1. – P. 206-222.

159. Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems / F. Isbell [et al.] // Journal of Ecology. – 2017. – Vol. 105. – № 4. – P. 871-879.

160. Benefits of mixing grasses and legumes for herbage yield and nutritive value in Northern Europe and Canada / E. Sturludóttir [et al.] // Grass and Forage Science. – 2014. – Vol. 69. – № 2. – P. 229-240.

161. Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes / F. Isbell [et al.] // Nature. – 2015. – Vol. 526. – № 7574. – P. 574-577.

162. Biological nitrogen fixation by pulse crops on the semiarid Canadian Prairie / Z. Hossain [et al.] // Canadian Journal of Plant Science. – 2016. – Vol. 97. – № 1. – P. 119-131.

163. Bottom-up effects of plant diversity on multitrophic interactions in a biodiversity experiment / C. Scherber [et al.] // Nature. – 2010. – Vol. 468. – P. 553-556.

164. Boudreau, M.A. Diseases in Intercropping Systems / M.A. Boudreau // Annual Review of Phytopathology. – 2013. – Vol. 51. – № 1. – P. 499-519.

165. Break crops and rotations for wheat / J.F. Angus [et al.] // *Crop and Pasture Science*. – 2015. – Vol. 66. – № 6. – P. 523.

166. Bybee-Finley, K. Advancing Intercropping Research and Practices in Industrialized Agricultural Landscapes / K. Bybee-Finley, M. Ryan // *Agriculture*. – 2018. – Vol. 8. – № 6. – P. 80.

167. Bybee-Finley, K.A. Functional Diversity in Summer Annual Grass and Legume Intercrops in the Northeastern United States / K.A. Bybee-Finley, S.B. Mirsky, M.R. Ryan // *Crop Science*. – 2016. – Vol. 56. – № 5. – P. 2775-2790.

168. Can legume companion plants control weeds without decreasing crop yield? A meta-analysis / V. Verret [et al.] // *Field Crops Research*. – 2017. – Vol. 204. – P. 158-168.

169. Capstaff, N.M. Improving the Yield and Nutritional Quality of Forage Crops / N.M. Capstaff, A.J. Miller // *Frontiers in Plant Science*. – 2018. – Vol. 9. – P. 535.

170. Cereal+Legume Intercropping: An Option for Improving Productivity and Sustaining Soil Health / J. Layek [et al.] // *Legumes for Soil Health and Sustainable Management* / eds. R.S. Meena [et al.] – Singapore: Springer Singapore, 2018. – P. 347-386.

171. Chickpea genotypes shape the soil microbiome and affect the establishment of the subsequent durum wheat crop in the semiarid North American Great Plains / W. Ellouze [et al.] // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2013. – Vol. 63. – P. 129-141.

172. Combining agro-ecological functions in grass-clover mixtures / B. R. de Haas [et al.] // *AIMS Agriculture and Food*. – 2019. – Vol. 4. – № 3. – P. 547-567.

173. Comparative productivity of alternative cellulosic bioenergy cropping systems in the North Central USA / G.R. Sanford [et al.] // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2016. – Vol. 216. – P. 344-355.

174. Complementary effects of species and genetic diversity on productivity and stability of sown grasslands / I. Prieto [et al.] // *Nature Plants*. – 2015. – Vol. 1. – № 4. – P. 15033.

175. Crop ecology: productivity and management in agricultural systems. *Crop ecology* / D.J. Connor [et al.] – Cambridge University Press. – Cambridge, UK, 2011. – 576 p.

176. Crop sequence effects on energy efficiency and land demand in a long-term fertilisation trial / G. Moitzi [et al.] // *Plant, Soil and Environment*. – 2021. – Vol. 67. – № 12. – P. 739-746.

177. Decomposition and nutrient release of leguminous plants in coffee agroforestry systems / E. da S. Matos [et al.] // *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. – 2011. – Vol. 35. – № 1. – P. 141-149.

178. Dhakal, D. Grass-Legume Mixtures for Improved Soil Health in Cultivated Agroecosystem / D. Dhakal, M. Islam // *Sustainability*. – 2018. – Vol. 10. – № 8. – P. 2718.

179. Diversifying crop rotations with pulses enhances system productivity / Y. Gan [et al.] // *Scientific Reports*. – 2015. – Vol. 5. – № 1. – P. 14625.

180. Diversity and Productivity in a Long-Term Grassland Experiment / D. Tilman [et al.] // *Science*. – 2001. – Vol. 294. – № 5543. – P. 843-845.

181. Drought: A challenge for Indian farmers in context to climate change an variability / S. Kumar [et al.] – 2016. – Vol. 11. – P. 6243-6246.

182. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review / L. Bedoussac [et al.] // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2015. – Vol. 35. – № 3. – P. 911-935.

183. Ecosystem function enhanced by combining four functional types of plant species in intensively managed grassland mixtures: a 3-year continental-scale field experiment / J.A. Finn [et al.] // *Journal of Applied Ecology*. – 2013. – Vol. 50. – № 2. – P. 365-375.

184. Effect of Composted Rock Phosphate with Organic Materials on Yield and Phosphorus Uptake of Berseem and Maize / A. Ali [et al.] // *American Journal of Plant Sciences*. – 2014. – Vol. 05. – № 07. – P. 975-984.

185. Effect of Different Levels of Nitrogen Fertilization on Forage Yields and Quality of Hairy Vetch (*Vicia villosa*, Roth) Triticale (*Xtriticosecale*, Witmack) Mixtures / S. BenYoussef [et al.] // *The Open Agriculture Journal*. – 2019. – Vol. 13. – № 1. – P. 90-100.

186. Effect of nitrogen fertilization on yield, N content, and nitrogen fixation of alfalfa and smooth brome grass grown alone or in mixture in greenhouse pots / K. Xie [et al.] // Journal of Integrative Agriculture. – 2015. – Vol. 14. – № 9. – P. 1864-1876.

187. Effect of NPK rates and irrigation frequencies on the growth and yield performance of *Trifolium alexandrinum* L. / S. Jahan Leghari [et al.] // AIMS Agriculture and Food. – 2018. – Vol. 3. – № 4. – P. 397-405.

188. Effect of P fertilizer application on N balance of soybean crop in the guinea savanna of Nigeria / I.J. Ogoke [et al.] // Agriculture, Ecosystems & Environment. – 2003. – Vol. 100. – № 2-3. – P. 153-159.

189. Effects of crop rotation on energy use efficiency of irrigated potato with cereals, canola, and alfalfa over a 14-year period in Manitoba, Canada / M. Khakbazan [et al.] // Soil and Tillage Research. – 2019. – Vol. 195. – P. 104357.

190. Energy Efficiency of Maize Production Technology: Evidence from Polish Farms / A. Konieczna [et al.] // Energies. – 2021. – Vol. 14. – № 1. – P. 170.

191. Energy efficiency of winter wheat in a long-term tillage experiment under Pannonian climate conditions / G. Moitzi [et al.] // European Journal of Agronomy. – 2019. – Vol. 103. – P. 24-31.

192. Eriksen, J. Residual effect and nitrate leaching in grass-arable rotations: effect of grassland proportion, sward type and fertilizer history / J. Eriksen, M. Askegaard, K. Søgaard // Soil Use and Management. – 2008. – Vol. 24. – № 4. – P. 373-382.

193. Esmaeili Taheri, A. Cropping practices impact fungal endophytes and pathogens in durum wheat roots / A. Esmaeili Taheri, C. Hamel, Y. Gan // Applied Soil Ecology. – 2016. – Vol. 100. – P. 104-111.

194. Farming for Ecosystem Services: An Ecological Approach to Production Agriculture / G. Philip Robertson [et al.] // BioScience. – 2014. – Vol. 64. – № 5. – P. 404-415.

195. Finney, D.M. Biomass Production and Carbon/Nitrogen Ratio Influence Ecosystem Services from Cover Crop Mixtures / D.M. Finney, C.M. White, J.P. Kaye // Agronomy Journal. – 2016. – Vol. 108. – № 1. – P. 39-52.

196. Fossil Energy Use, Climate Change Impacts, and Air Quality-Related Human Health Damages of Conventional and Diversified Cropping Systems in Iowa, USA / N.D. Hunt [et al.] // *Environmental Science & Technology*. – 2020. – Vol. 54. – № 18. – P. 11002-11014.

197. Franke, A.C. Which farmers benefit most from sustainable intensification? An ex-ante impact assessment of expanding grain legume production in Malawi / A.C. Franke, G.J. van den Brand, K.E. Giller // *European Journal of Agronomy*. – 2014. – Vol. 58. – P. 28-38.

198. Fungal diversity associated with pulses and its influence on the subsequent wheat crop in the Canadian prairies / A.N. Borrell [et al.] // *Plant and Soil*. – 2017. – Vol. 414. – № 1-2. – P. 13-31.

199. Gain in Nitrogen Yield from Grass-Legume Mixtures is Robust Over a Wide Range of Legume Proportions and Environmental Conditions / M. Suter [et al.] // *Procedia Environmental Sciences*. – 2015. – Vol. 29. – P. 187-188.

200. Gene expression and nitrogen loss in senescing root systems of red clover (*Trifolium pratense*) / K.J. Webb [et al.] // *The Journal of Agricultural Science*. – 2010. – Vol. 148. – № 5. – P. 579-591.

201. Global meta-analysis reveals agro-grassland productivity varies based on species diversity over time / A.J. Ashworth [et al.] // *PLOS ONE*. – 2018. – Vol. 13. – № 7. – P. e0200274.

202. Grabber, J.H. Soil Nitrogen and Forage Yields of Corn Grown with Clover or Grass Companion Crops and Manure / J.H. Grabber, W.E. Jokela, J.G. Lauer // *Agronomy Journal*. – 2014. – Vol. 106. – № 3. – P. 952-961.

203. Grain legume decline and potential recovery in European agriculture: a review / P. Zander [et al.] // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2016. – Vol. 36. – № 2. – P. 26.

204. Gramss, G. Turnover of Minerals and Organics in the Postharvest Herbage of Annuals and Perennials: Winter Wheat and Goldenrod / G. Gramss, K.-D. Voigt // *Agriculture*. – 2018. – Vol. 8. – № 11. – P. 170.

205. Grossman, J. Increasing Soil Fertility and Health through Cover Crops [Электронный ресурс]. – URL: <https://eorganic.org/node/7469>.

206. Growth, photosynthetic acclimation and yield quality in legumes under climate change simulations: An updated survey / J.J. Irigoyen [et al.] // *Plant Science*. – 2014. – Vol. 226. – P. 22-29.

207. Gulwa, U. Effect of Grass-legume Intercropping on Dry Matter Yield and Nutritive Value of Pastures in the Eastern Cape Province, South Africa / U. Gulwa, N. Mgujulwa, S.T. Beyene // *Universal Journal of Agricultural Research*. – 2017. – Vol. 5. – № 6. – P. 355-362.

208. Heuzé, V. Oat forage [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.feedipedia.org/node/500>.

209. How can forage production in Nordic and Mediterranean Europe adapt to the challenges and opportunities arising from climate change? / Å. Ergon [et al.] // *European Journal of Agronomy*. – 2018. – Vol. 92. – P. 97-106.

210. Huyghe, C. Agronomic value and provisioning services of multi-species swards / C. Huyghe, I. Litrico, F. Surault // *EGF*. – 2012. – Vol. 17. – P. 35-46.

211. Impact of legume “break” crops on the yield and grain quality of wheat and relationship with soil mineral N and crop N content / J. Evans [et al.] // *Australian Journal of Agricultural Research*. – 2003. – Vol. 54. – № 8. – P. 777.

212. Influence of ley-arable systems on soil carbon stocks in Northern Europe and Eastern Canada. / T. Kätterer [et al.] // *The role of grasslands in a green future: threats and perspectives in less favoured areas. Proceedings of the 17th Symposium of the European Grassland Federation, Akureyri, Iceland, 23-26 June 2013*. – 2013. – Vol. 18. – P. 47-56.

213. Interactions between Cultivars of Legumes Species (*Trifolium pratense* L., *Medicago sativa* L.) and Grasses (*Phleum pratense* L., *Lolium perenne* L.) Under Different Nitrogen Levels / M. McElroy [et al.] // *Canadian Journal of Plant Science*. – 2016. – Vol. 97. – № 2. – P. 214-225.

214. Invited review: Sustainable forage and grain crop production for the US dairy industry / N.P. Martin [et al.] // *Journal of Dairy Science*. – 2017. – Vol. 100. – № 12. – P. 9479-9494.

215. Kayser, M. Little fertilizer response but high N loss risk of maize on a productive organic-sandy soil / M. Kayser, M. Benke, J. Isselstein // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2011. – Vol. 31. – № 4. – P. 709-718.

216. King, A.E. Diversified cropping systems support greater microbial cycling and retention of carbon and nitrogen / A.E. King, K.S. Hofmockel // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2017. – Vol. 240. – P. 66-76.

217. Lauriault, L.M. Yield and Nutritive Value of Irrigated Winter Cereal Forage Grass-Legume Intercrops in the Southern High Plains, USA / L.M. Lauriault, R.E. Kirksey // *Agronomy Journal*. – 2004. – Vol. 96. – № 2. – P. 352-358.

218. Legume-cereal crop rotation systems in China / Z. Zeng [et al.] // *Crop Rotations: Farming Practices, Monitoring and Environmental Benefits*. Chapter 3. – 2016. – Vol. 3. – P. 51-70.

219. Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review / E.S. Jensen [et al.] // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2012. – Vol. 32. – № 2. – P. 329-364.

220. Lehtonen, H. Promoting clover-grass: Implications for agricultural land use in Finland / H. Lehtonen, O. Niskanen // *Land Use Policy*. – 2016. – Vol. 59. – P. 310-319.

221. Lötjönen, S. Does crop rotation with legumes provide an efficient means to reduce nutrient loads and GHG emissions? / S. Lötjönen, M. Ollikainen // *Review of Agricultural, Food and Environmental Studies*. – 2017. – Vol. 98. – № 4. – P. 283-312.

222. Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: A review / S. Preissel [et al.] // *Field Crops Research*. – 2015. – Vol. 175. – P. 64-79.

223. Models of biological nitrogen fixation of legumes. A review / Y. Liu [et al.] // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2011. – Vol. 31. – № 1. – P. 155-172.

224. Mudrykh, N.M. Effect of Fertilizers on the Productivity of Crop Rotation and on Organic Matter in the Soil / N.M. Mudrykh // 8th International Soil Science Congress

on “Land Degradation and Challenges in Sustainable Soil Management”. – Izmir, 2012. – Vol. I. – P. 335-338.

225. Munroe, J.W. N₂-fixing trees and the transfer of fixed-N for sustainable agroforestry: a review / J.W. Munroe, M.E. Isaac // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2014. – Vol. 34. – № 2. – P. 417-427.

226. Negash, F. Effect of Cropping Sequence on Agricultural Crops: Implications for Productivity and Utilization of Natural Resources / F. Negash, T. Muluaem, K. Fikirie // *Advances in Crop Science and Technology*. – 2018. – Vol. 06. – № 01. – P. 326.

227. Nesheim, L. Nitrogen fixation by white clover when competing with grasses at moderately low temperatures / L. Nesheim, B.C. Boller // *Plant and Soil*. – 1991. – Vol. 133. – № 1. – P. 47-56.

228. Nitrogen contribution from forage legumes in maize farming system in West Timor, Indonesia / E. Hosang [et al.] – Australia: Proceedings of the 2016 International Nitrogen Initiative Conference in Melbourne, 2016. – 4 p.

229. Nitrogen fixation and transfer of red clover genotypes under legume–grass forage based production systems / M.S. Thilakarathna [et al.] // *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. – 2016. – Vol. 106. – № 2. – P. 233-247.

230. Nodulation and nitrogen accumulation in pulses vary with species, cultivars, growth stages, and environments / Z. Hossain [et al.] // *Canadian Journal of Plant Science*. – 2018. – Vol. 98. – № 3. – P. 527-542.

231. No-till permanent meadow promotes soil carbon sequestration and nitrogen use efficiency at the expense of productivity / F. Castelli [et al.] // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2017. – Vol. 37. – № 6. – P. 55.

232. Optimized nitrogen application methods to improve nitrogen use efficiency and nodule nitrogen fixation in a maize-soybean relay intercropping system / T. Yong [et al.] // *Journal of Integrative Agriculture*. – 2018. – Vol. 17. – № 3. – P. 664-676.

233. Parameters of biological circulation of phytomass and nutritional elements in crop rotations / D.V. Litvinov [et al.] // *Ukrainian Journal of Ecology*. – 2019. – Vol. 9. – № 3. – P. 92-98.

234. Perennial species mixtures for multifunctional production of biomass on marginal land / G. Carlsson [et al.] // *GCB Bioenergy*. – 2017. – Vol. 9. – № 1. – P. 191-201.
235. Phytochemicals induced in chickpea roots selectively and non-selectively stimulate and suppress fungal endophytes and pathogens / N. Bazghaleh [et al.] // *Plant and Soil*. – 2016. – Vol. 409. – № 1-2. – P. 479-493.
236. Polley, H.W. Plant functional traits improve diversity-based predictions of temporal stability of grassland productivity / H.W. Polley, F.I. Isbell, B.J. Wilsey // *Oikos*. – 2013. – Vol. 122. – № 9. – P. 1275-1282.
237. Potential of legume-based grassland–livestock systems in Europe: a review / A. Lüscher [et al.] // *Grass and Forage Science*. – 2014. – Vol. 69. – № 2. – P. 206-228.
238. Preceding crops and nitrogen fertilization influence soil nitrogen cycling in no-till canola and wheat cropping systems / M. St. Luce [et al.] // *Field Crops Research*. – 2016. – Vol. 191. – P. 20-32.
239. Pre-crop Values From Satellite Images for Various Previous and Subsequent Crop Combinations / P. Peltonen-Sainio [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. – 2019. – Vol. 10. – P. 462.
240. Pyrosequencing reveals how pulses influence rhizobacterial communities with feedback on wheat growth in the semiarid Prairie / C. Yang [et al.] // *Plant and Soil*. – 2013. – Vol. 367. – № 1-2. – P. 493-505.
241. Raseduzzaman, Md. Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis / Md. Raseduzzaman, E.S. Jensen // *European Journal of Agronomy*. – 2017. – Vol. 91. – P. 25-33.
242. Red clover varieties of Mattenkleee type have higher production, protein yield and persistence than Ackerkleee types in grass-clover mixtures / N.J. Hoekstra [et al.] // *Grass and Forage Science*. – 2018. – Vol. 73. – № 2. – P. 297-308.
243. Reiss, E.R. Cultivar mixtures: a meta-analysis of the effect of intraspecific diversity on crop yield / E.R. Reiss, L.E. Drinkwater // *Ecological Applications*. – 2018. – Vol. 28. – № 1. – P. 62-77.

244. Relating soil microbial properties to yields of no-till canola on the Canadian prairies / N.Z. Lupwayi [et al.] // *European Journal of Agronomy*. – 2015. – Vol. 62. – P. 110-119.

245. Relationships between climate and winter cereal grain quality in Finland and their potential for forecasting / P.D. Hollins [et al.] // *Agricultural and food science*. – 2004. – № 13. – P. 295-308.

246. Residual plant nutrients in crop residues – an important resource / S. Torma [et al.] // *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*. – 2018. – Vol. 68. – № 4. – P. 358-366.

247. Response of Indian mustard to Nutrients and Plant Growth Regulators: The Influence on Yield, Available Soil P Balance and P Recycling through Residues / R.K. Dubey [et al.] // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. – 2017. – Vol. 6. – № 8. – P. 3319-3331.

248. Revamping soil quality and correlation studies for yield and yield attributes in sorghum-legumes intercropping systems / M.A. Iqbal [et al.] // *Bioscience Journal*. – 2018. – Vol. 34. – P. 564-576.

249. Schonbeck, M. Soil health and organic farming. Cover crops: selection and management. An analysis of USDA organic research and extension initiative (OREI) and organic transitions (ORG) funded research from 2002-2016 / M. Schonbeck, D. Jerkins, J. Ory. – Santa Cruz, CA: Organic Farming Research Foundation, 2017. – 40 p.

250. Silage maize and sugar beet for biogas production in crop rotations and continuous cultivation – energy efficiency and land demand / A. Jacobs [et al.] // *Field Crops Research*. – 2016. – Vol. 196. – P. 75-84.

251. Soil carbon sequestration by three perennial legume pastures is greater in deeper soil layers than in the surface soil / X.-K. Guan [et al.] // *Biogeosciences*. – 2016. – Vol. 13. – № 2. – P. 527-534.

252. Soil carbon storage and yields of spring barley following grass leys of different age / B.T. Christensen [et al.] // *European Journal of Agronomy*. – 2009. – Vol. 31. – № 1. – P. 29-35.

253. Soil residual water and nutrients explain about 30% of the rotational effect in 4-year pulse-intensified rotation systems / Y. Niu [et al.] // *Canadian Journal of Plant Science*. – 2017. – Vol. 97. – № 5. – P. CJPS-2016-0282.

254. Soil–Plant Indices Help Explain Legume Response to Crop Rotation in a Semi-arid Environment / J. Li [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. – 2018. – Vol. 9. – P. 1488.

255. Soni, P. Energy use and efficiency in selected rice-based cropping systems of the Middle-Indo Gangetic Plains in India / P. Soni, R. Sinha, S.R. Perret // *Energy Reports*. – 2018. – Vol. 4. – P. 554-564.

256. Supporting Agricultural Ecosystem Services through the Integration of Perennial Polycultures into Crop Rotations / P. Weißhuhn [et al.] // *Sustainability*. – 2017. – Vol. 9. – № 12. – P. 2267.

257. Sustainable intensification in the production of grass and forage crops in the Low Countries of north-west Europe / D. Reheul [et al.] // *Grass and Forage Science*. – 2017. – Vol. 72. – № 3. – P. 369-381.

258. Sustainable intensification through rotations with grain legumes in Sub-Saharan Africa: A review / A.C. Franke [et al.] // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2018. – Vol. 261. – P. 172-185.

259. Suter, M. Weed suppression enhanced by increasing functional trait dispersion and resource capture in forage ley mixtures / M. Suter, D. Hofer, A. Lüscher // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2017. – Vol. 240. – P. 329-339.

260. The after-effect of chosen Fabaceae forecrops on the yield of grain and protein in winter triticale (*Triticosecale* sp. Wittmack ex A. Camus 1927) fertilized with mineral nitrogen / J. Prusinski [et al.] // *Plant, Soil and Environment*. – 2016. – Vol. 62. – № 12. – P. 571-576.

261. The long-term effect of legumes as forecrops on the productivity of rotation (winter rape-winter wheat-winter wheat) with nitrogen fertilization / A. Faligowska [et al.] // *Plant, Soil and Environment*. – 2019. – Vol. 65. – № 3. – P. 138-144.

262. Trade-Offs between Economic and Environmental Impacts of Introducing Legumes into Cropping Systems / M. Reckling [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. – 2016. – Vol. 7. – P. 669.

263. Two perennial legumes (*Astragalus adsurgens* Pall. and *Lespedeza davurica* S.) adapted to semiarid environments are not as productive as lucerne (*Medicago sativa* L.), but use less water / X.-K. Guan [et al.] // *Grass and Forage Science*. – 2013. – Vol. 68. – № 3. – P. 469-478.

264. Unathi, G. Benefits of grass-legume inter-cropping in livestock systems / G. Unathi, M. Nobulungisa, T.B. Solomon // *African Journal of Agricultural Research*. – 2018. – Vol. 13. – № 26. – P. 1311-1319.

265. Understanding variability in soybean yield and response to P-fertilizer and rhizobium inoculants on farmers' fields in northern Nigeria / E. Ronner [et al.] // *Field Crops Research*. – 2016. – Vol. 186. – P. 133-145.

266. Unfolding the potential of wheat cultivar mixtures: A meta-analysis perspective and identification of knowledge gaps / J. Borg [et al.] // *Field Crops Research*. – 2018. – Vol. 221. – № 3. – P. 298-313.

267. Using Winter Cover Crops to Enhance the Organic Vegetable Industry in the Mid-Atlantic Region. Final report for OREI project 2010-01954 / C.R. Hooks [et al.] – CRIS Abstracts, 2015.

268. Wit, J. Type of grass influences clover proportion and production of grass-clover leys. / J. Wit, P. Rietberg, N.V. Eekeren // *Grassland science in Europe*. – Wageningen, The Netherlands: EGF, 2015. – P. 197-199.

269. Yield and nutritive value of binary legume-grass mixtures under grazing or frequent cutting / G. Bélanger [et al.] // *Canadian Journal of Plant Science*. – 2017. – Vol. 98. – № 2. – P. 395-407.

270. Yield and Quality of Winter Cereal-Legume Fodder Mixtures and their Pure Stand under Temperate Conditions of Kashmir Valley, India / S. Ansarul Haq [et al.] // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. – 2018. – Vol. 7. – № 2. – P. 3626-3631.

271. Voisin, A.-S. Nutrition azotée et fonctionnement agrophysiologique spécifique des légumineuses / A.-S. Voisin, F. Gastal // *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables*. – Editions Quae, 2015. – C. 79-138.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Дисперсионный анализ рН соляной вытяжки 0-20 слоя почвы, ед.

2012 г.		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	НСР ₀₅
A ₁	B ₁	5,1	5,2	5,0	5,0	5,1	Общая	0,200	23						
	B ₂	4,9	5,0	5,1	5,0	5,0	Повторности	0,004	3						
A ₂	B ₁	5,1	5,0	4,9	5,0	5,0	Варианты	0,087	5	0,017					
	B ₂	5,0	5,0	5,0	5,1	5,0	A	0,043	2	0,021	3,01	3,68	0,03	0,04	0,10
A ₃	B ₁	5,0	5,0	5,1	5,1	5,0	B	0,004	1	0,004	0,52	4,54	0,02	0,03	0,07
	B ₂	5,3	5,1	5,1	5,2	5,2	AB	0,040	2	0,020	2,78	3,68			
Остаток								0,108	15	0,007	2,42	2,90	0,04	0,06	0,12

2018 г.		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	НСР ₀₅
A ₁	B ₁	5,0	5,1	5,0	5,0	5,0	Общая	0,440	23						
	B ₂	4,9	4,8	4,8	5,1	4,9	Повторности	0,018	3						
A ₂	B ₁	5,0	5,1	5,2	5,1	5,1	Варианты	0,272	5	0,054					
	B ₂	4,9	4,9	4,9	5,1	5,0	A	0,191	2	0,095	9,57	3,68	0,04	0,05	0,11
A ₃	B ₁	5,1	5,1	5,3	5,1	5,2	B	0,034	1	0,034	3,38	4,54	0,03	0,04	0,08
	B ₂	5,3	5,2	5,1	5,2	5,2	AB	0,047	2	0,024	2,38	3,68			
Остаток								0,150	21,00	0,010	5,46	2,49	0,05	0,07	0,15

Δx		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	НСР ₀₅
A ₁	B ₁	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1	Общая	0,380	23						
	B ₂	0,0	-0,2	-0,3	0,1	-0,1	Повторности	0,017	3						
A ₂	B ₁	-0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	Варианты	0,155	5	0,031					
	B ₂	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	A	0,078	2	0,039	2,79	3,68	0,04	0,06	0,13
A ₃	B ₁	0,1	0,1	0,2	0,0	0,2	B	0,060	1	0,006	4,32	4,54	0,03	0,05	0,10
	B ₂	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	AB	0,018	2	0,009	0,63	3,68			
Остаток								0,208	15	0,014	2,23	2,90	0,06	0,08	0,17

Дисперсионный анализ содержания гумуса в 0-20 слое почвы, %

2012 г.		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	2,37	2,32	2,43	2,43	2,38	Общая	0,13	23						
	B ₂	2,25	2,29	2,29	2,33	2,29	Повторности	0,01	3						
A ₂	B ₁	2,32	2,46	2,27	2,32	2,34	Варианты	0,07	5	0,013					
	B ₂	2,24	2,23	2,23	2,22	2,23	A	0,01	2	0,006	1,45	3,68	0,02	0,03	0,073
A ₃	B ₁	2,29	2,25	2,45	2,43	2,36	B	0,05	1	0,053	13,7	4,54	0,02	0,03	0,055
	B ₂	2,29	2,22	2,33	2,29	2,28	AB	0,00	2	0,000	0,21	3,68			
							Остаток	0,06	21	0,004	3,41	2,49	0,03	0,04	0,093

2018 г.		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	2,06	2,12	1,95	2,20	2,08	Общая	0,57	23						
	B ₂	2,43	2,31	2,55	2,43	2,43	Повторности	0,00	3						
A ₂	B ₁	2,22	2,34	2,25	2,09	2,23	Варианты	0,45	5	0,091					
	B ₂	2,43	2,40	2,45	2,54	2,46	A	0,03	2	0,015	1,94	3,68	0,03	0,04	0,102
A ₃	B ₁	2,20	2,17	2,21	2,28	2,21	B	0,40	1	0,400	52,99	4,54	0,03	0,04	0,078
	B ₂	2,43	2,37	2,47	2,38	2,41	AB	0,03	2	0,012	1,65	3,68			
							Остаток	0,11	21	0,008	12,03	2,49	0,04	0,06	0,131

Δx		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	-0,31	-0,2	-0,48	-0,23	-0,3	Общая	0,95	23						
	B ₂	0,18	0,05	0,23	0,1	0,14	Повторности	0,00	3						
A ₂	B ₁	-0,1	-0,12	-0,02	-0,23	-0,11	Варианты	0,83	5	0,17					
	B ₂	0,19	0,14	0,24	0,16	0,23	A	0,06	2	0,03	3,93	3,68	0,03	0,04	0,105
A ₃	B ₁	-0,09	-0,08	-0,24	-0,15	-0,15	B	0,75	1	0,75	94,5	4,54	0,02	0,04	0,080
	B ₂	0,14	0,18	0,12	0,25	0,13	AB	0,03	2	0,01	1,64	3,68			
							Остаток	0,12	21	0,00	21,1	2,49	0,04	0,06	0,133

Дисперсионный анализ содержания общего азота в 0-20 см слое почвы, г/кг

2012 г.		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	3,20	3,00	3,20	3,20	3,20	Общая	2,79	23						
	B ₂	2,38	2,44	2,40	2,40	2,40	Повторности	0,02	3						
A ₂	B ₁	2,88	2,94	2,90	2,90	2,90	Варианты	2,55	5	0,51					
	B ₂	2,60	2,20	2,20	2,30	2,30	A	0,16	2	0,08	5,68	3,68	0,04	0,06	0,142
A ₃	B ₁	3,20	2,90	3,10	3,10	3,10	B	2,34	1	2,34	163,2	4,54	0,03	0,05	0,107
	B ₂	2,40	2,70	2,50	2,50	2,50	AB	0,04	2	0,02	1,55	3,68			
							Остаток	0,22	21	0,01	35,5	2,49	0,06	0,09	0,180

2018 г.		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	2,50	2,10	2,80	1,90	2,30	Общая	3,38	23						
	B ₂	2,00	2,90	2,30	2,90	2,50	Повторности	0,05	3						
A ₂	B ₁	2,50	1,90	1,90	2,20	2,10	Варианты	1,37	5	0,27					
	B ₂	2,80	2,30	2,60	2,80	2,60	A	0,79	2	0,39	3,01	3,68	0,13	0,18	0,427
A ₃	B ₁	2,30	3,25	2,80	2,80	2,80	B	0,32	1	0,32	2,41	4,54	0,10	0,15	0,325
	B ₂	2,60	2,90	2,80	2,80	2,80	AB	0,27	2	0,13	1,02	3,68			
							Остаток	1,96	21	0,13	2,09	2,49	0,18	0,26	0,545

Δx	I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	HCP ₀₅	
A ₁	B ₁	-0,7	-0,9	-0,4	-1,3	-0,9	Общая	7,32	23						
	B ₂	-0,38	0,46	-0,1	0,5	0,1	Повторности	0,13	3						
A ₂	B ₁	-0,38	-1,04	-1	-0,7	-0,8	Варианты	5,16	5	1,03					
	B ₂	0,2	0,1	0,4	0,5	0,3	A	0,46	2	0,23	1,70	3,68	0,13	0,18	0,43
A ₃	B ₁	-0,9	0,35	-0,3	-0,3	-0,3	B	4,38	1	4,38	32,3	4,54	0,11	0,15	0,33
	B ₂	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	AB	0,32	2	0,16	1,18	3,68			
							Остаток	2,03	21	0,14	7,61	2,49	0,18	0,26	0,55

Дисперсионный анализ содержания фосфора в 0-20 см слое почвы, мг/кг

2012 г.		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	НСР ₀₅
A ₁	B ₁	950	970	960	960	960	Общая	57496	23						
	B ₂	930	860	910	870	890	Повторности	1246	3						
A ₂	B ₁	1000	960	970	960	970	Варианты	42971	5	8594					
	B ₂	880	910	870	900	890	A	9733	2	4867	5,50	3,68	10,5	14,9	35,1
A ₃	B ₁	950	1070	990	1020	1010	B	33004	1	33004	37,3	4,54	8,59	12,2	26,7
	B ₂	910	960	930	940	930	AB	233,3	2	116,7	0,13	3,68			
							Остаток	13279	21	885,3	9,71	2,49	14,9	21,0	44,8

2018 г.		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	НСР ₀₅
A ₁	B ₁	890	920	860	840	880	Общая	33383	23						
	B ₂	850	820	860	920	860	Повторности	550	3						
A ₂	B ₁	820	810	820	840	820	Варианты	13533	5	2707					
	B ₂	890	890	820	810	850	A	5233	2	2617	2,03	3,68	12,7	17,9	42,4
A ₃	B ₁	780	850	840	780	810	B	3267	1	3267	2,54	4,54	10,4	14,6	32,2
	B ₂	870	850	870	880	870	AB	5033	2	2517	1,96	3,68			
							Остаток	19300	21	1287	2,10	2,49	17,9	25,4	54,0

Δx		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	НСР ₀₅
A ₁	B ₁	-60	-50	-100	-120	-80	Общая	112963	23						
	B ₂	-80	-40	-50	50	-30	Повторности	279	3						
A ₂	B ₁	-180	-150	-150	-120	-150	Варианты	85838	5	17168					
	B ₂	10	-20	-50	-90	-40	A	22500	2	11250	6,29	3,68	15,0	21,2	50,0
A ₃	B ₁	-180	-210	-150	-240	-200	B	57038	1	57038	31,9	4,54	12,2	17,3	38,0
	B ₂	-40	-110	-60	-60	-60	AB	6300	2	3150	1,76	3,68			
							Остаток	26846	21	1790	9,59	2,49	21,2	29,9	63,7

**Дисперсионный анализ содержания подвижного калия в 0-20 см слое почвы,
мг/кг**

2012 г.		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	НСР ₀₅
A ₁	B ₁	196	187	185	200	192	Общая	2570	23						
	B ₂	187	187	180	196	187	Повторности	44,2	3						
A ₂	B ₁	197	197	200	194	197	Варианты	607	5	121					
	B ₂	190	186	196	169	185	A	138	2	68,8	0,54	3,68	4,00	5,65	13,3
A ₃	B ₁	203	194	220	182	200	B	417	1	417	3,26	4,54	3,26	4,62	10,1
	B ₂	189	190	177	208	191	AB	53	2	26,5	0,21	3,68			
							Остаток	1918	21	128	0,95	2,49	5,65	8,00	17,0

2018 г.		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	НСР ₀₅
A ₁	B ₁	174	188	161	177	175	Общая	3316	23						
	B ₂	173	166	168	162	167	Повторности	10,8	3						
A ₂	B ₁	192	165	201	185	186	Варианты	984	5	197					
	B ₂	162	172	169	178	170	A	239	2	120	0,77	3,68	4,40	6,22	14,7
A ₃	B ₁	161	171	178	193	176	B	672	1	672	4,34	4,54	3,59	5,08	11,1
	B ₂	181	175	161	152	167	AB	73	2	37	0,24	3,68			
							Остаток	2321	15	155	1,27	2,90	6,22	8,80	18,7

Δx		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	НСР ₀₅
A ₁	B ₁	-22	1	-24	-23	-17	Общая	6096	23						
	B ₂	-14	-21	-12	-34	-20	Повторности	43	3						
A ₂	B ₁	-5	-32	2	-9	-11	Варианты	527	5	105					
	B ₂	-28	-14	-27	9	-15	A	473	2	237	0,64	3,68	6,79	9,60	22,7
A ₃	B ₁	-42	-23	-42	11	-24	B	32,7	1	33	0,09	4,54	5,54	7,84	17,2
	B ₂	-8	-15	-16	-56	-24	AB	20,6	2	10,3	0,03	3,68			
							Остаток	5527	15	368	0,29	2,90	9,60	13,6	28,9

**Дисперсионный анализ количества элементов питания, заключённых в
биомассе запаханых пожнивно-корневых остатков, 2014-2018 гг.**

Сбор СВ, т/га		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	S _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	34,3	35,6	21,5	52,7	36,0	Общая	1955	23						
	B ₂	49,4	28,6	40,6	37,4	39,0	Повторности	340,0	3						
A ₂	B ₁	22,7	35,9	30,7	41,5	32,7	Варианты	771,0	5	154,2					
	B ₂	27,0	35,4	23,1	35,1	30,2	A	728,6	2	364,3	6,48	3,68	2,65	3,75	8,87
A ₃	B ₁	20,6	30,9	24,5	25,0	25,3	B	2,667	1	2,7	0,05	4,54	2,16	3,06	6,74
	B ₂	26,8	17,6	17,6	29,3	22,8	AB	39,80	2	19,9	0,35	3,68			
							Остаток	843,5	15	56,2	2,74	2,9	3,75	5,302	11,3

Всего N _{общ.} , кг/га		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	S _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	676	676	650	617	655	Общая	551555	23						
	B ₂	603	621	725	638	647	Повторности	8813	3						
A ₂	B ₁	393	475	606	758	558	Варианты	419658	5	83932					
	B ₂	597	655	703	629	646	A	401192	2	200596	24,4	3,7	32	45,3	107,1
A ₃	B ₁	401	427	187	331	337	B	9243	1	9243	1,1	4,5	26,1	37	81,4
	B ₂	350	404	404	339	374	AB	9223	2	4611	0,6	3,7			
							Остаток	123084	15	8206	10,2	2,9	45,3	64,1	136,5

Всего P ₂ O ₅ , кг/га		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	S _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	219	226	219	363	257	Общая	70338	23						
	B ₂	202	269	252	249	243	Повторности	3510	3						
A ₂	B ₁	287	324	298	212	280	Варианты	30632	5	6126					
	B ₂	259	296	374	294	306	A	28733	2	14367	5,95	3,68	17,4	24,56	58,08
A ₃	B ₁	254	180	220	200	214	B	1	1	1	0	4,54	14,2	20,05	44,14
	B ₂	160	221	179	252	203	AB	1898	2	949	0,39	3,68			
							Остаток	36195	15	2413	2,54	2,9	24,6	34,73	74,04

Всего K ₂ O, кг/га		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	S _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	324	412	285	334	339	Общая	200088	23						
	B ₂	403	322	389	466	395	Повторности	3182	3						
A ₂	B ₁	250	329	314	335	307	Варианты	150219	5	30044					
	B ₂	256	317	397	339	327	A	142621	2	71310	22,91	3,68	19,7	27,89	65,96
A ₃	B ₁	243	123	266	135	192	B	2522	1	2522	0,81	4,54	16,1	22,78	50,13
	B ₂	181	178	170	178	177	AB	5077	2	2538	0,82	3,68			
							Остаток	46687	15	3112	9,65	2,9	27,9	39,45	84,08

**Дисперсионный анализ урожайности культур в агрофитоценозах,
среднее за 2013-2018 гг., т/га**

1 укос ЗМ		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	9,9	11,1	9,9	10,8	10,4	Общая	40,4	23						
	B ₂	13,3	12,6	13,2	12,5	12,9	Повторности	2,12	3						
A ₂	B ₁	9,2	8,9	9,2	11,0	9,6	Варианты	31,6	5	6,33					
	B ₂	11,3	10,0	10,5	10,7	10,6	A	14,8	2	7,39	16,5	3,68	0,24	0,33	0,79
A ₃	B ₁	11,6	11,1	10,7	11,8	11,3	B	14,26	1	14,3	31,9	4,54	0,19	0,27	0,60
	B ₂	12,6	11,0	13,2	12,8	12,4	AB	2,62	2	1,31	2,93	3,68			
							Остаток	6,70	15	0,45	14,2	2,49	0,33	0,47	1,00

2 укос ЗМ		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	8,7	8,0	8,6	9,3	8,6	Общая	78,0	23						
	B ₂	10,4	9,0	8,5	9,5	9,4	Повторности	1,80	3						
A ₂	B ₁	4,4	4,2	5,4	4,7	4,7	Варианты	71,0	5	14,2					
	B ₂	4,6	5,2	5,3	6,1	5,3	A	69,2	2	34,6	99,2	3,68	0,21	0,30	0,69
A ₃	B ₁	7,2	8,3	7,3	8,6	7,9	B	1,50	1	1,50	4,30	4,54	0,17	0,24	0,53
	B ₂	8,1	7,3	8,4	8,3	8,0	AB	0,32	2	0,16	0,46	3,68			
							Остаток	5,23	15	0,35	40,7	2,49	0,30	0,42	0,89

Σ (1+2 укос) ЗМ		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	18,5	19,0	18,5	20,2	19,1	Общая	193	23						
	B ₂	23,7	21,6	21,7	22,0	22,2	Повторности	7,77	3						
A ₂	B ₁	13,6	13,1	14,5	15,8	14,2	Варианты	173	5	34,7					
	B ₂	15,9	15,2	15,8	16,7	15,9	A	144	2	72,2	89,2	3,68	0,32	0,45	1,06
A ₃	B ₁	18,9	19,5	17,9	20,4	19,2	B	24,8	1	24,8	30,7	4,54	0,26	0,37	0,80
	B ₂	20,7	18,3	21,6	21,1	20,4	AB	4,24	2	2,12	2,62	3,68			
							Остаток	12,1	15	0,81	42,9	2,49	0,45	0,64	1,35

Зерно ячменя		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	2,6	2,1	2,7	3,1	2,6	Варианты	1,20	1	1,20					
	B ₂	3,1	3,5	3,9	3,1	3,4	Остаток	0,624	3	0,208	5,78	10,1	0,228	0,322	1,02
A ₂	B ₁	2,2	2,5	2,9	4	2,8	Варианты	2,42	1	2,42					
	B ₂	3,8	3,5	4,7	4	3,9	Остаток	0,980	3	0,327	7,41	10,1	0,327	0,286	1,28
A ₃	B ₁	2,6	2,7	2,4	3	2,8	Варианты	0,245	1	0,245					
	B ₂	4	2,6	2,5	3	3,1	Остаток	0,745	3	0,248	0,987	10,1	0,249	0,352	1,12
\bar{x}	B ₁					2,7	Варианты	3,42	1	3,42					
	B ₂					3,5	Остаток	3,08	3	0,257	13,3	4,75	0,140	0,199	0,47

**Дисперсионный анализ показателей среднегодовой продуктивности
агрофитоценозов, 2013-2018 гг.**

Сбор СВ, т/га		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	3,32	2,96	3,96	3,78	3,51	Общая	25,5	23						
	B ₂	4,33	3,85	4,44	4,10	4,18	Повторности	1,57	3						
A ₂	B ₁	3,35	3,33	4,08	4,66	3,86	Варианты	19,9	5	3,98					
	B ₂	4,44	3,85	4,32	4,71	4,33	A	17,5	2	8,75	32,7	3,68	0,18	0,26	0,61
A ₃	B ₁	4,70	6,34	4,65	5,95	5,41	B	2,31	1	2,31	8,64	4,54	0,15	0,21	0,46
	B ₂	6,12	5,36	6,64	6,37	6,12	AB	0,065	2	0,033	0,12	3,68			
							Остаток	4,02	15	0,27	14,9	2,488	0,26	0,37	0,78

Сбор КЕ, тыс. КЕ/га		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	2,08	1,85	2,48	2,41	2,20	Общая	8,58	23						
	B ₂	2,66	2,41	2,78	2,53	2,60	Повторности	0,57	3						
A ₂	B ₁	1,84	1,83	2,24	2,52	2,11	Варианты	6,54	5	1,31					
	B ₂	2,58	2,25	2,50	2,72	2,51	A	5,42	2	2,71	27,7	3,68	0,11	0,16	0,37
A ₃	B ₁	2,72	3,65	2,64	3,44	3,11	B	1,11	1	1,11	11,4	4,54	0,09	0,13	0,28
	B ₂	3,72	3,02	3,86	3,83	3,61	AB	0,013	2	0,006	0,066	3,68			
							Остаток	1,46	15	0,098	13,4	2,49	0,16	0,22	0,47

Сбор ОЭ, ГДж/га		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	29,0	25,9	34,6	33,3	30,7	Общая	1813	23						
	B ₂	37,4	33,6	38,6	35,5	36,3	Повторности	115	3						
A ₂	B ₁	27,6	27,4	33,5	38,0	31,6	Варианты	1312	5	262					
	B ₂	37,6	32,6	36,5	39,7	36,6	A	1148	2	574	22,3	3,68	1,79	2,54	6,0
A ₃	B ₁	39,4	55,7	38,6	49,9	45,9	B	164	1	164	6,37	4,54	1,46	2,07	4,5
	B ₂	52,5	41,5	55,7	54,4	51,0	AB	0,39	2	0,20	0,008	3,68			
							Остаток	386	15	25,7	10,2	2,49	2,54	3,59	7,6

Сбор СП, ц/га		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	4,07	3,61	4,86	4,67	4,30	Общая	78,9	23						
	B ₂	5,35	4,94	5,78	5,28	5,34	Повторности	3,77	3						
A ₂	B ₁	4,58	4,56	5,64	6,41	5,30	Варианты	64,6	5	12,9					
	B ₂	6,74	5,93	6,69	7,24	6,65	A	54,2	2	27,1	38,4	3,68	0,30	0,42	0,99
A ₃	B ₁	6,50	9,28	6,55	8,34	7,67	B	10,1	1	10,1	14,4	4,54	0,24	0,34	0,75
	B ₂	9,16	7,58	10,30	9,68	9,17	AB	0,24	2	0,12	0,17	3,68			
							Остаток	10,6	15	0,71	18,3	2,49	0,42	0,59	1,26

**Дисперсионный анализ качества получаемых кормов в агрофитоценозах,
среднее за 2013-2018 гг.**

		Содержание КЕ в СВ, КЕ×10 ⁻³ /кг					Доля СП в СП, %					Содержание ОЭ в СВ, МДж/кг				
		I	II	III	IV	\bar{x}	I	II	III	IV	\bar{x}	I	II	III	IV	\bar{x}
A ₁	B ₁	625	627	625	636	628	12,3	12,2	12,2	12,4	12,3	8,73	8,74	8,74	8,80	8,75
	B ₂	615	626	626	617	621	12,4	12,8	13,0	12,9	12,8	8,65	8,71	8,71	8,66	8,68
A ₂	B ₁	549	551	549	541	548	13,7	13,7	13,8	13,7	13,7	8,22	8,24	8,22	8,16	8,21
	B ₂	582	584	579	577	581	15,2	15,4	15,5	15,4	15,4	8,47	8,48	8,44	8,43	8,46
A ₃	B ₁	580	576	567	577	575	13,8	14,6	14,1	14,0	14,1	8,40	8,79	8,31	8,38	8,47
	B ₂	607	564	582	601	589	15,0	14,1	15,5	15,2	15,0	8,58	7,75	8,39	8,54	8,32

Содержание КЕ в СВ, КЕ×10⁻³/кг

D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	$s_{\bar{x}}$	S _d	НСР ₀₅
Общая	19699	23						
Повторности	115	3						
Варианты	18191	5	3638					
A	15543	2	7772	83,7	3,68	3,4	4,8	11,4
B	1027	1	1027	11,1	4,54	2,8	3,9	8,6
AB	1621	2	810	8,73	3,68			
Остаток	1393	15	92,8	39,2	2,49	4,8	6,8	14,5

Доля СП в СВ, %

D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	$s_{\bar{x}}$	S _d	НСР ₀₅
Общая	30,8	23						
Повторности	0,29	3						
Варианты	29,0	5	5,81					
A	21,7	2	10,9	114	3,68	0,11	0,15	0,36
B	5,9	1	5,90	61,8	4,54	0,09	0,13	0,27
AB	1,41	2	0,703	7,36	3,68			
Остаток	1,43	15	0,096	60,8	2,49	0,15	0,22	0,46

Содержание ОЭ в СВ, МДж/кг

D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	$s_{\bar{x}}$	S _d	НСР ₀₅
Общая	1,46	23						
Повторности	0,012	3						
Варианты	0,864	5	0,173					
A	0,687	2	0,343	8,78	3,68	0,070	0,099	0,234
B	0,0003	1	0,0003	0,007	4,54	0,057	0,081	0,178
AB	0,178	2	0,089	2,27	3,68			
Остаток	0,586	15	0,039	4,42	2,49	0,099	0,140	0,298

**Дисперсионный анализ показателей биоэнергетической эффективности
производства культур в агрофитоценозах, 2013-2018 гг.**

Совокупные энергозатраты, ГДж/га

		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	139	136	144	143	141	Общая	7655	23						
	B ₂	175	170	175	172	173	Повторности	54,5	3						
A ₂	B ₁	122	121	126	130	125	Варианты	7457	5	1491					
	B ₂	156	152	154	157	155	A	2417	2	1208	127	3,68	1,1	1,5	3,6
A ₃	B ₁	117	126	117	124	121	B	4959	1	4959	521	4,54	0,9	1,3	2,8
	B ₂	143	144	146	146	145	AB	81,3	2	40,6	4,27	3,68			
							Остаток	142,8	15	9,52	157	2,49	1,5	2,2	4,7

КЭЭ

		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	1,25	1,14	1,44	1,40	1,31	Общая	4,49	23						
	B ₂	1,28	1,18	1,33	1,24	1,26	Повторности	0,146	3						
A ₂	B ₁	1,35	1,36	1,59	1,76	1,52	Варианты	3,76	5	0,752					
	B ₂	1,44	1,29	1,43	1,51	1,42	A	3,69	2	1,85	47,7	3,68	0,070	0,098	0,233
A ₃	B ₁	2,02	2,65	1,98	2,41	2,27	B	0,058	1	0,058	1,50	4,54	0,057	0,080	0,177
	B ₂	2,21	1,73	2,30	2,23	2,12	AB	0,010	2	0,005	0,12	3,68			
							Остаток	0,580	15	0,039	19,4	2,49	0,098	0,139	0,297

Энергоёмкость КЕ, МДж/КЕ

		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	11,2	12,2	9,69	9,89	10,7	Общая	98,2	23						
	B ₂	10,9	11,7	10,5	11,4	11,1	Повторности	6,35	3						
A ₂	B ₁	11,1	11,0	9,40	8,58	10,0	Варианты	83,3	5	16,7					
	B ₂	10,1	11,3	10,2	9,67	10,3	A	82,8	2	41,4	72,5	3,68	0,27	0,38	0,89
A ₃	B ₁	7,16	5,77	7,40	6,02	6,59	B	0,470	1	0,470	0,82	4,54	0,22	0,31	0,68
	B ₂	6,40	7,94	6,29	6,37	6,75	AB	0,048	2	0,024	0,04	3,68			
							Остаток	8,57	15	0,571	29,2	2,49	0,38	0,53	1,14

Энергоёмкость СП, МДж/кг

		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	HCP ₀₅
A ₁	B ₁	57,1	62,7	49,5	50,9	55,0	Общая	3439	23						
	B ₂	54,5	57,4	50,4	54,4	54,2	Повторности	151	3						
A ₂	B ₁	44,4	44,4	37,3	33,7	40,0	Варианты	3120	5	624					
	B ₂	38,6	42,7	38,2	36,3	39,0	A	3116	2	1558	139	3,68	1,18	1,68	3,96
A ₃	B ₁	30,0	22,7	29,8	24,8	26,8	B	2,80	1	2,80	0,249	4,54	0,97	1,37	3,01
	B ₂	26,0	31,7	23,7	25,2	26,6	AB	0,791	2	0,395	0,035	3,68			
							Остаток	168	15	11,2	55,6	2,49	1,68	2,37	5,05

**Дисперсионный анализ показателей экономической эффективности
производства культур в агрофитоценозах, 2013-2018 гг.**

Затраты, тыс. руб./га

		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	НСР ₀₅
A ₁	B ₁	63,9	62,7	65,4	65,1	64,3	Общая	1061	23						
	B ₂	77,3	75,9	77,4	76,7	76,8	Повторности	7,62	3						
A ₂	B ₁	55,0	54,8	56,4	57,7	56,0	Варианты	1037	5	207					
	B ₂	67,6	66,1	67,0	68,2	67,2	A	354	2	177	154	3,68	0,38	0,54	1,27
A ₃	B ₁	58,2	61,7	58,3	60,9	59,8	B	655	1	655	569	4,54	0,31	0,62	0,96
	B ₂	66,6	66,9	67,9	67,9	67,3	AB	26,9	2	13,5	11,7	3,68			
							Остаток	17,3	15	1,15	180	2,49	0,54	0,76	1,62

Стоимость, тыс. руб./га

		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	НСР ₀₅
A ₁	B ₁	67,7	65,1	74,6	76,0	70,9	Общая	1942	23						
	B ₂	88,6	83,8	87,1	82,9	85,6	Повторности	253	3						
A ₂	B ₁	57,1	56,7	61,7	71,4	61,7	Варианты	1357	5	271					
	B ₂	75,0	69,8	78,6	74,5	74,5	A	592	2	296	13,3	3,68	1,67	2,36	5,57
A ₃	B ₁	77,0	78,5	71,5	86,0	78,3	B	561	1	561	25,3	4,54	1,36	1,92	4,23
	B ₂	70,8	75,3	85,0	87,9	79,8	AB	204	2	102	4,60	3,68			
							Остаток	333	15	22,2	12,2	2,49	2,36	3,33	7,10

Чистая прибыль, тыс.руб./га

		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	НСР ₀₅
A ₁	B ₁	3,80	2,40	9,20	10,90	6,60	Общая	893	23						
	B ₂	11,30	7,90	9,70	6,20	8,80	Повторности	173	3						
A ₂	B ₁	2,10	1,90	5,30	13,70	5,80	Варианты	466	5	93,2					
	B ₂	7,40	3,70	11,60	6,30	7,30	A	378	2	189	11,2	3,68	1,45	2,06	4,86
A ₃	B ₁	18,80	16,80	13,20	25,10	18,50	B	3,68	1	3,68	0,22	4,54	1,19	1,68	3,70
	B ₂	4,20	8,40	17,10	20,00	12,40	AB	83,7	2	41,9	2,47	3,68			
							Остаток	254	15	16,9	5,50	2,49	2,06	2,91	6,20

Рентабельность, %

		I	II	III	IV	\bar{x}	D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	НСР ₀₅
A ₁	B ₁	5,9	3,8	14,1	16,7	10,1	Общая	2382	23						
	B ₂	14,6	10,4	12,5	8,1	11,4	Повторности	429	3						
A ₂	B ₁	3,8	3,5	9,4	23,7	10,1	Варианты	1361	5	272					
	B ₂	10,9	5,6	17,3	9,2	10,8	A	1049	2	524	13,3	3,68	2,22	3,14	7,43
A ₃	B ₁	32,3	27,2	22,6	41,2	30,8	B	73,5	1	43,5	1,86	4,54	1,81	2,56	5,64
	B ₂	6,3	12,6	25,2	29,5	18,4	AB	239	2	120	3,03	3,68			
							Остаток	592	15	39,5	6,90	2,49	3,14	4,44	9,47

Дисперсионный анализ коэффициента окупаемости производства культур в агрофитоценозах, 2013-2018 гг.

		I	II	III	IV	\bar{x}
A ₁	B ₁	1,06	1,04	1,14	1,17	1,10
	B ₂	1,20	1,10	1,13	1,08	1,12
A ₂	B ₁	1,04	1,03	1,09	1,24	1,10
	B ₂	1,11	1,06	1,17	1,09	1,11
A ₃	B ₁	1,32	1,27	1,23	1,41	1,31
	B ₂	1,06	1,13	1,25	1,29	1,18

D	C	l-1	S	F _Ф	F ₀₅	s \bar{x}	s _d	НСР ₀₅
Общая	0,238	23						
Повторности	0,040	3						
Варианты	0,131	5	0,026					
A	0,099	2	0,049	11,1	3,68	0,024	0,033	0,079
B	0,006	1	0,006	1,28	4,54	0,019	0,027	0,060
AB	0,027	2	0,013	3,02	3,68			
Остаток	0,067	15	0,004	5,89	2,49	0,033	0,047	0,101

Акт внедрения результатов опыта, 2018-2020 гг.

АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской работы
Свечникова А.К.

«Изучить влияние плодосмена на продуктивность культур кормовых севооборотов при длительном использовании минеральных удобрений»

Рекомендации по результатам научно-исследовательской работы использованы и внедрены в производство в 2018-2020 гг. в ООО «Тумьюмучаш» Куженерского района Республики Марий Эл на общей площади 21 га.

Внедрённые рекомендации: отказ от внесения азотных удобрений на двухлетний период после трёхлетнего использования клеверо-люцерно-тимофеечной травосмеси и возделывание в данный период звеньев севооборота озимая рожь – яровой ячмень (11 га) и озимая рожь – смесь из вики, овса и подсолнечника (10 га).

Применённые рекомендации позволили ежегодно экономить в среднем 220 руб./га на азотных удобрениях, сохранить сбор сухого вещества зерна (в среднем за год 2,59 т/га) и соломы, силоса (в среднем за год 3,10 т/га), повысить биоэнергетическую эффективность (КЭЭ) с 2,3 на 0,3 ед., рентабельность производства – в среднем за год с 22 % на 5 %.

Директор ООО «Тумьюмучаш»

Таныгин В.В.

Гл. агроном ООО «Тумьюмучаш»

Иванова В.А.

