

На правах рукописи

Лазаров Таймураз Константинович

**НАУЧНОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО
СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В ПОЛЕВОМ
СЕВОБОРОТЕ НА ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА**

06.01.04 – агрохимия

Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора
сельскохозяйственных наук

Владикавказ – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «**Горский государственный аграрный университет**»

Научный консультант: доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Дзанагов Созырко Хасанбекович
заслуженный деятель науки РФ
заслуженный работник высшей школы РФ

Официальные оппоненты: **Есаулко Александр Николаевич** - доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», декан факультетов агробиологии и земельных ресурсов и экологии и ландшафтной архитектуры, профессор кафедры агрохимии и физиологии растений;

Онищенко Людмила Михайловна - доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина», профессор кафедры агрохимии;

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

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»**

Защита диссертации состоится «06» октября 2022 года в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.023.01, ФГБОУ ВО Горский ГАУ по адресу: 362040, г. Владикавказ, ул. Кирова, 37, Горский ГАУ; тел./факс: (8672) 53-91-80, e-mail: d22002301@gorskigau.com

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО Горский ГАУ. <http://gorskigau.com>

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Козырев Асланбек Хасанович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность избранной темы. Интенсивные технологии возделывания полевых культур в сельскохозяйственном производстве должны быть основаны на зональных особенностях систем удобрения в типичных полевых севооборотах, обеспечивающих сохранение и расширенное воспроизводство плодородия почвы, достижение устойчивого увеличения урожайности, улучшения качества продукции, роста продуктивности севооборота и экономической эффективности производства. В противном случае со временем это приведет к истощению почвы, стабильным снижениям урожайности культур и ухудшению качества продукции.

Многочисленные научные исследования в области агрохимии свидетельствуют, что увеличение урожайности культур и продуктивности севооборотов напрямую связано с длительностью и систематичностью применения удобрений, а хорошая обеспеченность почвы общими и усвояемыми формами питательных веществ снижает эффективность удобрений. С учетом этого определение видов, доз, сроков и способов внесения удобрений должно быть научно обосновано. Большой научный и практический интерес вызывают результаты исследований в условиях длительного систематического применения удобрений, благодаря которым на практике можно заранее спрогнозировать, как будут изменяться в будущем показатели плодородия почвы и продуктивности возделываемых культур. Поэтому систематический мониторинг плодородия почвы и продуктивности пашни в зависимости от систем удобрения в длительных стационарных опытах с течением времени приобретает большую ценность.

Степень разработанности темы. Вопросы применения удобрений в севооборотах на почвах Северного Кавказа длительное время изучали ученые-агрохимики научно-исследовательских и высших учебных заведений, Кубани, Ставрополя, Кабардино-Балкарии, Северной Осетии, Чечни, Ингушетии, Дагестана. В РСО-Алания этими вопросами протяжении 50 лет занимается кафедра агрохимии и почвоведения Горского ГАУ. Комплексные научные исследования по проблеме «Системы применения удобрений в полевых севооборотах на 4-х основных типах и подтипах почв Центрального Предкавказья в длительных полевых стационарных опытах по программе Геосети опытов с удобрениями» провел в 1971-1992 гг. профессор С.Х. Дзанагов. На черноземе выщелоченном РСО-Алания краткосрочные опыты с удобрениями на отдельных культурах и в звеньях севооборота провели А.Е. Басиев, З.Т. Кануков, А.Ю. Хадиков, Б.Р. Ханикаев, Б.В. Гагиев и др. Многие вопросы изучены достаточно глубоко. Однако, как показывает практика, со временем под влиянием экологических и антропогенных факторов агрохимические показатели почвы могут меняться и соответственно изменять показатели продуктивности севооборота.

Цель исследований – выявить на основании мониторинга и комплексной оценки условий длительного систематического применения удобрений оптимальные уровни и комбинации насыщения полевого севооборота удобрениями для лесостепной зоны Центральной части Северного Кавказа на чернозе-

мах выщелоченных, характеризующиеся высокой урожайностью и продуктивностью севооборота, хорошим качеством продукции, сохранением и воспроизводством плодородия почвы и экономической эффективностью.

Задачи исследований:

1. Изучить влияние длительного систематического применения различных систем удобрения на содержание гумуса, физико-химические свойства и питательный режим чернозема выщелоченного в полевом севообороте.

2. Изучить процессы роста и развития растений, фотосинтетической деятельности посевов, накопления сухого вещества, потребления основных питательных элементов растениями в зависимости от обеспеченности минеральным питанием.

3. Установить влияние длительного применения удобрений на урожайность культур, структуру урожая и продуктивность полевого севооборота.

4. Изучить изменение химического состава и качества основной продукции культур севооборота под влиянием длительного применения удобрений

5. Определить дифференцированный вынос основных питательных элементов с урожаем культур и на единицу основной продукции, рассчитать баланс гумуса и питательных веществ в почве севооборота и коэффициенты использования их из почвы и удобрений.

6. Рассчитать экономическую, агрономическую и энергетическую эффективность удобрений в полевом севообороте.

7. На основании 20-летних исследований предложить оптимальные дозы и комбинации удобрений для сельскохозяйственного производства лесостепной зоны Центральной части Северного Кавказа.

Научная новизна. Впервые в лесостепной зоне Центральной части Северного Кавказа проведен мониторинг плодородия чернозема выщелоченного, подстилаемого галечником, вовлеченного в полевой севооборот с длительной интенсивной химизацией земледелия, экспериментально выявлены и теоретически обоснованы изменения основных параметров плодородия почвы, процессов роста и развития растений полевых культур, урожайности культур и продуктивности севооборота, химического состава и качества продукции. Установлены доли участия влияния удобрений в формировании урожая, корреляционно-регрессионные зависимости показателей формирования урожая культур и качества продукции от обеспеченности почвы питательными элементами из вносимых удобрений. Получены новые данные о выносе питательных веществ с урожаем, коэффициентах использования их из почвы и удобрений, эффективность применения различных систем удобрения в севообороте.

Теоретическая и практическая значимость работы. Экспериментально полученные данные о физико-химических свойствах почвы, содержании гумуса и подвижных форм азота, фосфора, калия в черноземе выщелоченном, а также отзывчивости сельскохозяйственных культур на длительное систематическое применение удобрений являются теоретическими предпосылками для эффективного использования удобрений в полевых севооборотах лесостепной зоны Центральной части Северного Кавказа. Предложенный оптимальный вариант системы удобрения полевого севооборота обеспечит высокую его про-

дуктивность с улучшенными качественными показателями получаемой продукции и показателями экономической эффективности удобрений при условии сохранения плодородия почвы. Полученные количественные показатели выноса основных питательных веществ с урожаями и балансовые коэффициенты позволяют более точно в данных конкретных условиях рассчитывать оптимальные дозы удобрений под запланированный урожай. Экспериментальные данные об оптимальной концентрации питательных элементов в растениях в разные фазы роста позволят при проведении растительной диагностики устанавливать необходимость соответствующих подкормок. Результаты могут быть использованы также в учебном процессе аграрных вузов при изучении агрономических дисциплин.

Методология и методы диссертационного исследования. Для планирования и проведения исследований в качестве источников информации использовали информационные издания, монографии, статьи и книги специализированной научной тематики и другие материалы. При проведении исследований применялся системный подход. Методологическую основу научно-экспериментальной работы составили методы исследований – полевые и лабораторные опыты в течение длительного (20 лет) времени (изучение показателей эффективного плодородия почвы, наблюдения за ростом и развитием растений, учет урожайности культур полевого севооборота, лабораторные анализы агрохимических показателей почвы и биохимических показателей растительной продукции) с применением методик, входящих в базу ГОСТов Общероссийского классификатора стандартов Российской Федерации, и использованием современного приборного оборудования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Длительное систематическое применение удобрений в полевом севообороте оказывает существенное влияние на плодородие чернозема выщелоченного, его физико-химические свойства, гумусированность и показатели эффективного плодородия.

2. На формирование биомассы культур полевого севооборота, линейный рост растений, развитие листовой поверхности, фотосинтетическую деятельность посевов, накопление сухого вещества и потребление питательных элементов растениями существенно влияет обеспеченность почвы элементами минерального питания.

3. Плодородие почвы и системы удобрения с учетом длительности их применения определяют урожайность культур и продуктивность полевого севооборота

4. Интенсивная химизация земледелия в течение длительного времени приводит к изменениям химического состава и качества урожая культур полевого севооборота.

5. Рациональная система удобрения полевого севооборота способна обеспечить положительный баланс гумуса и питательных веществ, сохранение и воспроизводство плодородия почвы.

6. Применение удобрений в полевом севообороте экономически рентабельно, окупается полученной дополнительной продукцией, характеризуется высокой энергоотдачей.

Степень достоверности результатов исследований подтверждается большим объемом экспериментальных данных, полученных в результате 20-летних опытов, применением методик, входящих в базу действующих Российских и межгосударственных стандартов, достаточным объемом расчетных материалов и полученных зависимостей, статистической обработкой данных методом дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализов, периодической публикацией основных результатов в изданиях, включенных в Перечень российских рецензируемых научных журналов, их апробацией на различных научных форумах и положительными результатами проверки в производственных условиях.

Апробация результатов. Основные результаты исследований отражены в годовых отчетах по НИР кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО Горского ГАУ в 1995-2021 гг.; ежегодных отчетах в Геосеть о результатах длительного опыта в 1995-2017 гг.; опубликованных тезисах докладов на Международных научных и научно-практических конференциях в городах: Владикавказ, 1998, 2000, 2005-2007, 2001-2021; Москва, 2002, 2003; Махачкала, 2015; Пермь, 2015; Москва-Суздаль, 2017; Ставрополь, 2017, 2018; Краснодар, 2019; Майкоп, 2020 и др.

По материалам диссертации опубликовано 69 научных работ, в том числе: 28 – в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ, 2 – в международных базах Web of Science и Scopus, имеется 2 патента на изобретения.

Структура диссертации. Диссертация изложена на 355 стр. Включает: введение, основную часть (8 глав), заключение (выводы и рекомендации производству). В тексте содержится 88 таблиц и 50 иллюстраций. Библиографический список изложен на 101 стр., включает 839 наименований. Имеется также 266 приложений на 266 страницах.

УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Стационарный полевой опыт кафедры агрохимии и почвоведения Горского ГАУ расположен в лесостепной зоне РСО-Алания на черноземе выщелоченном, подстилаемом галечником. Климат зоны умеренно теплый, довольно влажный. Годовое количество осадков колеблется в пределах 930 мм. Среднегодовая температура воздуха – 8,0-9,7°C. Гидротермический коэффициент равен 1,2-1,5. за вегетационный период (апрель-октябрь) сумма положительных температур составляет 3300°C. Безморозный период – 185 дней. Зона характеризуется умеренным увлажнением, в течение вегетационного периода (апрель-октябрь) здесь выпадает около 680 мм осадков, а за год - до 933 мм.

Коэффициент увлажнения равен 0,9-1,0. Хотя осадков выпадает немало, растения временами могут испытывать недостаток влаги, так как почвы на большей части территории на небольшой глубине подстилаются галечником, и атмосферная вода легко проникает вглубь и теряется для растений.

В годы исследований климатические условия несколько отличались от среднесноголетних данных. Вегетация многолетних трав проходила в условиях благоприятного температурного режима, но с определенным дефицитом

влаги. 1994 год оказался благоприятнее: распределение осадков было более равномерно, в то время как в 2001 г. наблюдались резкие скачки от 15 (апрель) до 183 мм (июнь), а в 2006 г. осадки ливневого характера наблюдались в июле (248 мм) при остром недостатке влаги в июне (67 мм) и августе (21 мм).

Для озимой пшеницы менее благоприятным был сезон 2006-2007 гг., а наиболее – 2012-2013 и 2015-2016 гг. Октябрь и даже ноябрь месяц характеризовались положительными температурами. В основном благоприятно складывался и режим увлажнения в период «всходы-кущение». Весенняя вегетация озимой пшеницы наступала раньше среднесезонных сроков. Каждый апрель за все годы наблюдений был безморозным. В 2013 году осадков за вегетационный период выпало на 26% выше нормы, но в течение года неравномерно. Июньских осадков наибольшее количество пришлось на 2002 г. – 356 мм (превышение нормы в 3,3 раза), однако осадки выпадали в основном в виде ливней и терялись в короткие сроки. Первая половина июля (период созревания зерна) во все годы была в основном засушливой.

В годы возделывания кукурузы на зерно резких отклонений температур от среднесезонных значений не наблюдалось. Отклонения от нормы осадков были в основном в сторону засушливости. Так, в 1996 году осадков выпало на 226 мм (31%) меньше нормы. Менее засушливым был 2003 год.

В годы возделывания суданской травы (1997 и 2004) наблюдались несущественные отклонения от среднесезонной по сумме активных температур за вегетационный период. В годы возделывания кукурузы на силос (2009 и 2015) превышение этого показателя в 6% отмечено в 2015 году. Этот год отличался и явной засушливостью - осадков за вегетационный период выпало две трети от нормы. В остальные годы осадков выпадало больше нормы на 33-35% за вегетационный период.

В целом погодные условия за годы исследований были типичными для лесостепной зоны, в основном благоприятными для возделывания культур.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный, подстилаемый галечником. По гранулометрическому составу почвы относятся к тяжело-суглинистым, легко-и среднесуглинистым. Имеют рыхлое и среднетяжелое сложение, и вследствие этого благоприятное соотношение влаги и воздуха. Плотность пахотного слоя небольшая (объемная масса 1,01-1,20 г/см³), но с глубиной она возрастает до 1,4-1,5 г/см³.

По данным С.Х. Дзанагова (1999), черноземы выщелоченные имеют высокую актуальную (рНводн. = 6,2-6,4), обменную (рНсол. = 5,8-6,0) и гидролитическую (2,1-2,8 мг-экв. на 100 г почвы) кислотность, которая с глубиной уменьшается. Почвы имеют высокую обменную способность и большую степень насыщенности основаниями - 94-98%, благодаря высокой гумусированности, обогащенности минералами монтмориллонитовой группы, карбонатности почвообразующих пород. В составе обменных оснований доминирует кальций, значительно меньше магния. Сумма их в пахотном слое составляет 33-37 мг-экв. /100 г почвы. Признаки засоления отсутствуют.

Содержание гумуса в пахотном слое колеблется от 3,5 до 7,5%, но чаще всего составляет 4,5-6,0%, причем с глубиной равномерно убывает. Запасы

гумуса в пахотном слое - 380-570 т/га. Гумус имеет типичный качественный состав, в нем преобладают гуминовые кислоты (гуматы кальция), с глубиной растет количество фульвокислот. Гумус в этих почвах богат азотом (5-6%).

Черноземы выщелоченные отличаются высокими валовыми запасами питательных веществ. Содержание общего азота составляет 0,24-0,45%, фосфора - 0,2-0,3%, калия - 1,6-2,3%, запасы в полуметровом слое: азота - 21, фосфора - 10-30 и калия - 94-115 т/га. Обеспеченность подвижными формами азота и фосфора слабая и средняя, а обменным калием – средняя и повышенная. Содержание в пахотном слое легкогидролизуемого азота - 4-10 мг, подвижного фосфора по Труогу - 5-14 мг, обменного калия - 15 мг/100 г почвы.

Длительный стационарный опыт был заложен в 1971 году кафедрой агрохимии Горского сельскохозяйственного института (ныне Горский ГАУ). Схема опыта была разработана доцентом кафедры (ныне профессором) С.Х. Дзанаговым и одобрена профессором А.В. Петербургским, возглавлявшим в то время лабораторию баланса питательных веществ в земледелии в Институте агрохимии и почвоведения АН СССР. В настоящее время опыт «Изучить влияние различных комбинаций доз минеральных удобрений и сочетания их с навозом при длительном применении на урожайность, качество продукции, продуктивность полевое севооборота и плодородие почвы» включен в Реестр длительных опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами Российской Федерации (аттестат № 087 от 01.02.2006).

В опыте изучается влияние систематического применения удобрений на продуктивность 5-польного экспериментального полевого плодосменного севооборота с чередованием культур во времени: многолетние травы (люцерна / клевер луговой); озимая пшеница; кукуруза на зерно; суданская трава / кукуруза на силос; озимая пшеница. Данная работа выполнялась с 1994 по 2016 годы и охватывала 4 ротации севооборота, с 5-й по 8-ю. В 5-й и 6-й ротациях севооборота использовались: в 1-м поле люцерна, в 4-м поле - суданская трава, а в 7-й и 8-й ротациях – соответственно клевер луговой и кукуруза на силос. В длительном опыте изучали разные дозы и комбинации НРК, три уровня полного минерального удобрения, сравнительное действие минеральных и органических удобрений, различные уровни насыщенности севооборота удобрениями.

Схема опыта: контроль (вариант без удобрений); $N_1P_1K_1$; $N_2P_1K_1$; $N_1P_2K_1$; $N_2P_2K_1$; $N_2P_2K_2$; $N_3P_2K_1$; $N_3P_2K_2$; $N_2P_3K_1$; $N_2P_3K_2$; $N_3P_3K_1$; $N_3P_3K_3$; навоз+НРК; расчетный вариант.

Одинарная доза НРК по каждой культуре соответствовала рекомендованной в условиях лесостепной зоны по результатам краткосрочных опытов, а в расчетном варианте использовались дозы удобрений, рассчитанные методом элементарного баланса (табл. 1).

Варианты навоз+НРК и $N_2P_2K_2$ являются эквивалентными по НРК. Навоз вносили в дозе 30 т/га 1 раз за ротацию в 3-м поле (под кукурузу на зерно) в виде полуперепревшего навоза КРС. В годы, когда внесение навоза не предусматривалось, в почву вносили минеральные удобрения в дозе, эквивалентной $N_2P_2K_2$.

Таблица 1 - Распределение удобрений в севообороте, кг/га д.в.

Вариант	1 поле			2 поле			3 поле			4 поле			5 поле		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5-я ротация														
	люцерна			озимая пшеница			кукуруза на зерно			суданская трава			озимая пшеница		
N ₁ P ₁ K ₁	20	40	40	50	40	40	50	40	30	40	30	30	50	30	30
Расчетный	70	120	120	110	95	75	140	90	110	140	60	95	150	100	110
	6-я ротация														
	люцерна			озимая пшеница			кукуруза на зерно			суданская трава			озимая пшеница		
N ₁ P ₁ K ₁	20	40	40	50	40	40	40	40	40	40	30	30	50	30	30
Расчетный	60	130	80	110	90	70	150	100	130	150	60	100	150	90	100
	7-я ротация														
	клевер луговой			озимая пшеница			кукуруза на зерно			кукуруза на силос			озимая пшеница		
N ₁ P ₁ K ₁	30	30	30	50	40	40	40	40	40	40	40	40	50	30	30
Расчетный	92	214	117	110	90	70	140	90	110	150	100	120	150	100	100
	8-я ротация														
	клевер луговой			озимая пшеница			кукуруза на зерно			кукуруза на силос			озимая пшеница		
N ₁ P ₁ K ₁	30	30	30	50	40	40	40	40	40	40	40	40	50	40	40
Расчетный	60	110	80	110	90	70	140	90	110	140	90	110	150	100	100

В течение всего времени исследований на контрольном варианте удобрения не вносили, а на удобренных вариантах вносили ежегодно.

Удобрения в севообороте вносили дробно. Под яровые культуры: осенью под зяблевую вспашку – навоз (под кукурузу на зерно) и фосфорно-калийные удобрения, а весной, под предпосевную культивацию и в подкормки – азотные; под озимую пшеницу: осенью под вспашку - фосфорно-калийные удобрения и часть азотных, а весной, в подкормки – азотные.

При посеве всех культур вносили простой гранулированный суперфосфат в дозе 10 кг д.в./га.

В опытах использовали следующие минеральные удобрения (с содержанием действующего вещества): аммиачная селитра NH_4NO_3 (N – 34,5% д.в., карбамид (мочевина) $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (N – 46%), аммофос $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (N – 12%, P_2O_5 – 50%), суперфосфат простой гранулированный $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (P_2O_5 – 19,5%), хлористый калий KCl (K_2O – 60%).

Основное удобрение вносили вручную вразброс, припосевное – комбинированной сеялкой с туковысевающим аппаратом. Корневые подкормки производили вручную вразброс: на озимой пшенице - весной перед ранневесенним боронованием, а на кукурузе – перед культивацией междурядий в фазу 3-4 листьев; некорневые подкормки производили вручную опрыскиванием 15% р-ром мочевины. Навоз вносили вручную вразброс.

В опыте использовались: люцерна сорта Надежда; клевер луговой сорта Владикавказский; озимая пшеница сортов: Безостая 1 (1994-2005 гг.), Донская юбилейная (2007 г.), Москвичка (2010 г.), Батько (2013 г.) и Гром (2016 г.); кукуруза на зерно сортов: Молдавская 297 (1996 г.), Анютка (2003 г.) и Краснодарский 382МВ (2008 г.), ИР-401 (2014 г.); суданская трава сорта Черноградская 576; кукуруза на силос: Анютка (2009 г.) и Краснодарский 291 (2015 г.).

Исследования проводили в богарных условиях. Площадь делянки – 100 м². Повторность четырехкратная. Размещение вариантов систематизированное. Агротехника в опыте была общепринятой для лесостепной зоны.

Фенологические наблюдения, уход за культурами в полевом опыте проводили в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1972) и Методикой полевого опыта (Доспехов Б.А., 1985).

Для изучения влажности и пищевого режима почвы по вариантам отбирали почвенные образцы по фазам вегетации растений буром Некрасова с 2-х слоев: 0-20 и 20-40 см. Образцы отбирали с двух несмежных повторностей, в двух местах каждой делянки и составляли смешанный почвенный образец (ГОСТ 17.4.3.01–83). Анализы почв проводили в соответствии с общими требованиями к проведению анализов (ГОСТ 29269-91).

В отобранных образцах определяли: pH водной и солевой вытяжек (ГОСТ 26423-85 и ГОСТ 26483-85); гидролитическую кислотность методом Каппена (ГОСТ 26212–91); сумму поглощенных оснований методом Каппена (ГОСТ 27821–88); емкость поглощения и степень насыщенности основаниями – рас-

четным методом; содержание гумуса методом Тюрина (ГОСТ 26213–91); содержание поглощенного аммония методом Конева; содержание нитратов по Грандваль-Ляжу (ГОСТ 26488-85); содержание подвижного фосфора методом Чирикова (ГОСТ 26204–91); содержание обменного калия – извлечением по Чирикову (ГОСТ 26204–91) с последующим определением калия на пламенном фотометре.

Растительные образцы отбирали на контрастных вариантах (контроль, $N_1P_1K_1$, $N_2P_2K_2$, $N_3P_3K_3$, навоз+НПК, расчетный) по фазам вегетации. В образцах определяли: высоту растений путем промеров, площадь листовой поверхности методом высечек, сырую и сухую биомассу взвешиванием до и после высушивания.

Урожай учитывали методом сплошной уборки: зеленую массу люцерны, клевера лугового, суданской травы и кукурузы на силос – скашиванием по всей площади делянки с последующим взвешиванием; зерно озимой пшеницы – малотабаритным комбайном «Samro-130» и методом пробного снопа; початки кукурузы – вручную. Во время уборки урожая в двух несмежных повторностях опыта отбирали образцы основной и побочной продукции. Структуру урожая определяли в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1972).

Анализы растительных образцов (растений по фазам вегетации и урожая основной и побочной продукции) проводили следующими методами: сухое вещество – методом высушивания; химический состав (N, P_2O_5 , K_2O) - из одной навески по Пиневиц в модификации Куркаева; сырой протеин - умножением показателей содержания азота на соответствующие коэффициенты (сено, солома, силос, травы, зерно кукурузы, – 6,25; зерно пшеницы – 5,83); жир – методом обезжиренного остатка (ГОСТ 29033-91); клетчатку – методом Ганнеберга и Штомана (ГОСТ Р 52839-2007); крахмал – по Эверсу (ГОСТ 10845-98); золу – методом озоления (ГОСТ Р 51411-99); массу 1000 зерен – по двум навескам по 500 зерен (ГОСТ 10842-89); натуру - на литровой пурке (ГОСТ 10840-64); стекловидность - осмотром среза зерна (ГОСТ 10987-76); содержание сырой клейковины – методом отмывания (ГОСТ 13586.1-68; ГОСТ Р 54478-2011); качество клейковины – с помощью прибора ИДК-2 (ГОСТ 13586.1-68; ГОСТ Р 54478-2011);

Баланс гумуса рассчитывали по методическим подходам, приводимым в работах В.Г. Минеева (1993), С.Х. Дзанагова (1999), В.Г. Сычева и др. (2000) и др. Баланс элементов питания в почве определен разностным методом (Дзанагов С.Х., 1999). Экономическую эффективность рассчитывали по методике Н.Н. Баранова (1970), энергетическую - по методике, предложенной В.Г. Минеевым и др. (1993). Статистическую обработку результатов исследований проводили методом дисперсионного и корреляционного и регрессионного анализов по Б.А. Доспехову (1985) с использованием компьютерных программ (Excel).

ПЛОДОРОДИЕ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПРИ СИСТЕМАТИЧЕСКОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ В СЕВОБОРОТЕ

Исследования, проведенные на черноземе выщелоченном в течение 45-лет, показали, что систематическое внесение одних минеральных удобрений негативно сказывается на **гумусированности** почвы, тогда как в сочетании с периодическим внесением навоза они способствуют его повышению (табл. 2).

Таблица 2 – Изменение содержания гумуса в черноземе выщелоченном при длительном применении удобрений в полевом севообороте, %
(Дзанагов С.Х., Лазаров Т.К., Басиев А.Е. и др., 2014)

Вариант	Горизонт, см	Годы					Среднее
		1971	1976	1987	2003	2014	
Контроль	Ап, 0-30	5,57	5,44	5,30	5,25	5,42	5,39
	А1, 30-40	4,28	4,30	5,00	4,89	4,98	4,69
	В1, 40-59	1,72	1,73	3,59	3,48	3,11	2,73
	В2, 60-80	1,50	1,50	1,88	1,72	1,68	1,66
N ₁ P ₁ K ₁	Ап, 0-30	5,57	5,41	5,30	5,20	5,41	5,38
	А1, 30-40	4,28	4,37	4,41	4,36	5,09	4,50
	В1, 40-59	1,72	1,34	2,50	2,18	1,92	1,93
	В2, 60-80	1,50	1,58	1,88	1,61	1,54	1,62
N ₂ P ₂ K ₂	Ап, 0-30	5,57	5,33	5,38	5,15	5,52	5,42
	А1, 30-40	4,28	4,26	5,00	4,38	4,87	4,56
	В1, 40-59	1,72	1,60	3,41	2,78	2,38	2,38
	В2, 60-80	1,50	1,42	2,40	2,04	2,12	1,90
N ₃ P ₃ K ₃	Ап, 0-30	5,57	5,48	5,32	5,18	5,09	5,33
	А1, 30-40	4,28	4,06	3,88	3,46	3,22	3,78
	В1, 40-59	1,72	1,68	1,74	1,70	1,66	1,70
	В2, 60-80	1,50	1,46	1,49	1,43	1,42	1,46
Навоз+NPK	Ап, 0-30	5,57	5,40	5,50	5,74	5,85	5,61
	А1, 30-40	4,28	4,31	5,05	5,26	5,20	4,82
	В1, 40-59	1,72	1,71	2,67	1,98	1,82	1,98
	В2, 60-80	1,50	1,42	1,72	1,64	1,68	1,59
Расчетный	Ап, 0-30	5,57	5,45	5,35	5,28	5,31	5,39
	А1, 30-40	4,28	4,38	4,88	3,22	3,36	4,02
	В1, 40-59	1,72	1,73	1,67	1,82	1,80	1,75
	В2, 60-80	1,50	1,54	1,98	1,88	1,72	1,72

За 45 лет наблюдений содержание гумуса без применения удобрений в пахотном горизонте до 2003 г. постепенно снижалось, а в последующие 10 лет несколько повысилось, хотя в среднем уменьшилось на 0,18% по сравнению с исходным. В горизонте А1 (30-40 см), в начале наблюдений гумуса содержалось меньше, чем в пахотном на 1,29%, однако в дальнейшем оно увеличивалось к концу наблюдений по сравнению с исходным на 0,41%, по-видимому, за

счет миграции растворимого гумуса из пахотного в подпахотный горизонт. В нижележащих горизонтах В1 и В2 тоже наблюдается отмеченная тенденция увеличения количества гумуса. Очевидно, высокая фильтрующая способность почвы, близко подстилаемой галечником, при выпадении довольно значительного количества атмосферных осадков способствует вымыванию легкорастворимых гумусовых веществ из пахотного горизонта в нижележащие слои. В целом за наблюдаемый период содержание гумуса в слое почвы 0-40 см мало изменилось. Это можно объяснить относительно невысокой урожайностью культур на неудобренном варианте и гумификацией пожнивных и корневых остатков растений в какой-то мере компенсировавшей потери гумуса.

На удобренных вариантах содержание гумуса изменялось во времени по-разному. Так, по одинарной дозе NPK в пахотном слое 0-30 см оно происходило параллельно неудобренному контролю, а в слое 30-40 см и нижележащих слоях наблюдалась тенденция уменьшения. По двойной дозе NPK отмечено незначительное увеличение гумусированности в слое 0-30 см и более заметное уменьшение в слое 30-40 см по сравнению с контролем. По $N_3P_3K_3$ в слое 0-30 см количество гумуса плавно уменьшалось - за 43 года почти на 0,5%, а в слое 30-40 см - на 1,06%. На расчетном варианте в слое 0-30 см содержание гумуса за 16 лет снизилось на 0,22%, затем стабилизировалось на уровне 5,30%, то есть по сравнению с исходным уменьшилось на 0,26%.

На варианте навоз + NPK в слое 0-30 см содержание гумуса в первые 5 лет несколько снижалось по сравнению с контролем, а в дальнейшем стало повышаться и к концу наблюдений превзошло контроль на 0,43%. Аналогичная динамика свойственна и слою 30-40 см, где этот показатель увеличился на 0,22%. Следовательно, периодическое унавоживание почвы способствовало обогащению пахотного и подпахотного слоев почвы гумусом в отличие от вариантов применения одних минеральных удобрений.

Исследования показали, что в слое 0-40 см даже без применения удобрений физико-химические свойства чернозема выщелоченного во времени заметно изменялись, причем не всегда закономерно (табл. 3).

Показатель $pH(H_2O)$ в течение первых 16 лет на контроле значительно опустился относительно исходного уровня (Дзанагов С.Х., 1987). Однако в дальнейшем актуальная кислотность снизилась. На удобренных вариантах наблюдалась общая тенденция снижения показателя pH водной вытяжки, но более существенно. Если на контроле за 45 лет показатель $pH(H_2O)$ снизился на 0,2 единицы, то на вариантах с удобрениями - 0,3-0,5 единиц.

Обменная кислотность изменялась заметнее. Показатель $pH(KCl)$ на варианте без удобрений в течение первых 16 лет периода исследований также снизился (Дзанагов С.Х., 1987), но в дальнейшем оставался на прежнем уровне. На вариантах с минеральными удобрениями эта тенденция сохранялась, но в целом обменная кислотность была выше, чем на контроле, особенно в пахотном слое почвы, а к 2017 году показатели $pH(KCl)$ находились ниже уровня контроля на 0,1-0,3 единицы. За 45 лет наблюдений показатель $pH(KCl)$ снизился на 1,1 единицы на контроле и на 1,2-1,3 единицы - на вариантах с минеральными удобрениями.

Таблица 3 – Изменение физико-химических свойств
0-40 см слоя чернозема выщелоченного в результате длительного
применения удобрений

Вариант	Годы					Среднее
	1971	1987	1996	2006	2017	
рН(Н ₂ О) / (рН _{КСЛ})						
Контроль	6,4/6,2	5,3/5,3	6,1/5,1	6,3/5,2	6,2 / 5,1	6,2 / 5,3
N ₁ P ₁ K ₁		6,1/6,0	5,9/4,8	6,1/5,1	6,1 / 5,0	6,1 / 5,3
N ₂ P ₂ K ₂		6,2/5,8	6,0/4,9	6,0/4,9	5,8 / 4,9	6,0 / 5,2
N ₃ P ₃ K ₃		6,1/5,6	6,0/4,9	5,7/4,7	5,8 / 5,3	5,9 / 5,1
Навоз+NPK		6,2/6,1	6,2/5,1	6,1/4,9	6,1 / 5,9	6,2 / 5,4
Расчетный		6,1/5,7	5,8/4,8	5,8/4,8	5,8 / 4,9	5,9 / 5,1
Гидролитическая кислотность (Нг), мг-экв./100 г почвы						
Контроль	2,3	6,0	2,5	2,6	2,6	3,0
N ₁ P ₁ K ₁		4,7	2,7	2,7	2,6	2,9
N ₂ P ₂ K ₂		3,8	3,0	3,1	3,5	3,3
N ₃ P ₃ K ₃		6,3	3,7	3,8	4,0	4,0
Навоз+NPK		4,4	2,0	2,2	2,2	2,4
Расчетный		6,3	3,5	3,7	3,8	3,9
Суммы поглощенных катионов (S), мг-экв./100 г почвы						
Контроль	26,6	31,6	30,4	29,8	29,7	30,0
N ₁ P ₁ K ₁		31,6	30,7	30,4	30,1	30,3
N ₂ P ₂ K ₂		29,1	30,5	31,0	30,2	30,1
N ₃ P ₃ K ₃		29,5	29,9	29,5	29,8	29,4
Навоз+NPK		28,6	31,7	32,1	31,7	31,0
Расчетный		31,9	30,1	29,7	29,9	29,9
Емкость поглощения (Т), мг-экв./100 г почвы						
Контроль	29,5	37,6	32,9	32,5	32,3	33,0
N ₁ P ₁ K ₁		36,3	33,4	33,1	32,7	33,3
N ₂ P ₂ K ₂		31,4	33,5	34,0	33,7	33,2
N ₃ P ₃ K ₃		35,4	33,6	33,4	33,8	33,5
Навоз+NPK		33,0	33,7	34,3	33,9	33,5
Расчетный		38,2	33,6	33,5	33,7	33,9
Степень насыщенности основаниями (V), %						
Контроль	91,5	84,0	92,3	91,9	92,0	91,1
N ₁ P ₁ K ₁		87,1	92,0	91,8	92,0	91,2
N ₂ P ₂ K ₂		92,7	91,0	91,0	89,6	90,7
N ₃ P ₃ K ₃		82,2	89,0	88,5	88,3	88,2
Навоз+NPK		86,7	94,1	93,5	93,6	92,6
Расчетный		83,5	89,6	88,8	88,7	88,5

Внесение навоза позволило несколько смягчить подкисление почвы: за период наблюдений показатель рН(ксл) снизился на 0,3 единицы, и отличался от неудобренного контроля всего на 0,1 единицу.

Гидролитическая кислотность на удобренном контроле за первые 16 лет повысилась (Дзанагов С.Х., 1987), зато к 2017 году она уменьшилась почти в 2 раза и приблизилась к исходному уровню. В пахотном слое ее величина была выше, чем в подпахотном. На удобренных вариантах также наблюдалась аналогичная динамика, но к 2017 году подкисление почвы, где применялись удобрения, стало ощутимее. Если за 45 лет на контроле и на варианте с одинарной дозой НРК показатель Нг повысился на 0,3 мг-экв./100 г почвы, то при внесении двойной, тройной и расчетной доз он увеличился на 1,2; 1,7 и 1,5 мг-экв./100 г почвы по сравнению с исходным уровнем. Внесение навоза снизило гидролитическую кислотность по сравнению с исходным уровнем на 0,1 мг-экв./100 г почвы, величина ее была также ниже, чем на контроле на 0,2 мг-экв. к 2017 г., и на 0,6 мг-экв. / 100 г почвы в среднем за период исследований.

Сумма поглощенных оснований и емкость поглощения в исследуемой почве по сравнению с исходным уровнем существенно повысились на контроле соответственно на 3,1 и 2,8 мг-экв./100 г почвы. Удобренные варианты по сумме поглощенных катионов мало отличались от контроля, имея слабую тенденцию к повышению - на 0,1-0,4 мг-экв., лишь вариант с навозом имел более существенное превышение этого показателя – на 2,0 мг-экв./100 г почвы (2017 г.). В пахотном слое этот показатель был выше, чем в подпахотном.

Отчетливее отличались удобренные варианты от контроля в сторону превышения по показателю емкости поглощения. При 32,3 мг-экв. на контроле за счет внесения удобрений она увеличилась на 0,4-1,6 мг-экв./100 г почвы, несомненно, за счет повышения гидролитической кислотности. При этом доля полезных катионов в ППК снижалась.

В соответствии с указанными изменениями изменялась и **степень насыщенности почвы основаниями** – в первые 16 лет она снижалась из-за повышения гидролитической кислотности, но в дальнейшем возросла по сравнению с исходным уровнем. Внесение навоза способствовало большему накоплению обменных оснований, чем внесение одних минеральных удобрений. Так, в варианте навоз+НРК степень насыщенности основаниями превышала контроль и вариант $N_2P_2K_2$ соответственно на 1,6 и 4,0% (2017 г.).

Применение удобрений приводит к отчетливому улучшению азотного режима чернозема выщелоченного. Динамика **аммонийного и нитратного азота** была обусловлена усилением активности аммонифицирующих и нитрифицирующих бактерий по мере прогревания почвы и различной интенсивностью потребления аммонийного и нитратного азота растениями в разные периоды вегетации. На удобренных вариантах максимум содержания аммония и нитратов в почве приходился на начало вегетации в связи с внесением азотных удобрений. Кукуруза на зерно и кукуруза на силос поглощали больше аммонийного и нитратного азота, оставляя их в почве меньше, чем остальные культуры. По разным системам удобрения (органоминеральной и минеральной) особых различий по культурам не отмечено. В пахотном слое почвы под всеми культурами аммония содержалось больше, чем в подпахотном, что связано с малой его подвижностью. В то же время разница между содержанием нитратов по слоям была незакономерной.

Исследования, проведенные С.Х. Дзанаговым (1994) в течение первых четырех ротаций данного севооборота, показали, что на неудобренном контроле от начала к концу 1-й ротации происходило повышение, а к концу 3-й – снижение содержания аммония по всему почвенному профилю, но в целом, эти изменения были незначительными. При систематическом внесении удобрений эта закономерность сохранилась, причем удобренные варианты отличались от неудобренного устойчивым преимуществом в накоплении азота.

В наших наблюдениях в течение последующих четырех ротаций отмечено некоторое снижение содержания аммонийного и повышение содержания нитратного азота (табл. 4).

Таблица 4 – Содержание аммонийного и нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия в 0-40 см слое чернозема выщелоченного в результате длительного систематического применения удобрений, мг/кг почвы

Вариант	Среднее по ротациям (1994-2016 гг.)				Изменение (8 к 5)	
	5-я	6-я	7-я	8-я	мг/кг	%
Аммонийный азот (NH₄⁺)						
Контроль	34,4	32,1	31,6	31,0	-3,3	9,7
N ₁ P ₁ K ₁	37,5	37,4	37,6	37,2	-0,3	0,8
N ₂ P ₂ K ₂	41,0	39,8	40,3	39,5	-1,5	3,6
N ₃ P ₃ K ₃	43,2	42,7	43,3	40,8	-2,3	5,4
Навоз+НРК	40,6	40,3	40,9	39,0	-1,6	4,0
Расчетный	43,0	41,3	43,0	42,1	-0,9	2,0
Нитратный азот (NO₃⁻)						
Контроль	8,1	7,7	7,5	11,1	3,0	37,3
N ₁ P ₁ K ₁	12,9	13,7	13,6	16,0	3,1	23,7
N ₂ P ₂ K ₂	14,5	17,0	16,1	18,6	4,1	28,1
N ₃ P ₃ K ₃	18,4	20,0	19,4	21,6	3,2	17,4
Навоз+НРК	13,9	16,4	14,8	18,3	4,4	31,3
Расчетный	16,1	17,8	17,7	19,6	3,6	22,1
Подвижный фосфор						
Контроль	83	81	79	76	-7,3	-8,7
N ₁ P ₁ K ₁	89	91	91	87	-2,4	-2,7
N ₂ P ₂ K ₂	107	98	101	97	-10,0	-9,3
N ₃ P ₃ K ₃	118	109	114	108	-9,5	-8,1
Навоз+НРК	106	99	99	95	-10,7	-10,1
Расчетный	121	112	111	107	-14,4	-11,9
Обменный калий						
Контроль	150	148	147	138	-11,4	-7,6
N ₁ P ₁ K ₁	158	157	158	153	-5,2	-3,3
N ₂ P ₂ K ₂	162	160	161	160	-2,6	-1,6
N ₃ P ₃ K ₃	166	171	164	163	-3,1	-1,8
Навоз+НРК	159	160	160	158	-1,3	-0,8
Расчетный	167	163	166	164	-2,9	-1,7

На неудобренном контроле, содержание поглощенного аммония за 20-летний период снизилось более существенно - на 3,3 мг/кг почвы (9,7%), а на удобренных вариантах менее - на 0,3-2,3 мг/кг (0,8-5,4%). Вариант $N_1P_1K_1$ отличался наименьшим по сравнению с контролем и остальными вариантами снижением этого показателя, а наибольшим - $N_3P_3K_3$. В отличие от аммония содержание нитратов за 20-летний период, наоборот, несколько увеличилось: на неудобренном контроле - на 3,0 мг/кг почвы (37,3%), а на удобренных вариантах - на 3,1-4,4 мг/кг (24-31%).

Волнообразные колебания **подвижного фосфора** в почве в течение вегетации культур также связаны с потреблением его растениями и активизацией микроорганизмов, мобилизующих фосфор. В начале вегетации на удобренных вариантах его содержалось ненамного больше, чем на контроле, несмотря на высокие дозы фосфора. Очевидно химическое связывание фосфора удобрений и превращение его в неподвижные фосфаты. Однако в течение вегетации мобилизация фосфора удобренных вариантов шла интенсивнее, и его количество существенно превышало вариант без удобрений.

Подвижным фосфором в основном больше был обогащен пахотный слой, в который вносились удобрения, меньше - подпахотный. В течение 4-х ротаций полевого севооборота произошло некоторое его снижение по всем вариантам: на контроле - на 7,3 мг/кг почвы (8,7%), а на удобренных вариантах - на 2,4-14,4 мг/кг (2,7-11,9%). Меньшим по сравнению с контролем и остальными вариантами снижением отличался вариант с одинарной дозой NPK.

Максимальное количество **обменного калия** на неудобренном контроле содержалось в начале вегетации культур, затем оно постепенно уменьшалось. Сезонные изменения содержания обменного калия в почве невелики, так как микробиологические процессы играют здесь меньшую роль, чем в случае с азотом. На удобренных вариантах содержание обменного калия, несмотря на высокие дозы удобрения, несильно превышало контроль. В течение 4-х ротаций полевого севооборота произошло некоторое снижение содержания обменного калия в почве под культурами полевого севооборота по всем изучаемым вариантам: на неудобренном контроле более существенно - на 11,4 мг/кг почвы (7,6%), а на удобренных вариантах менее - на 1,3-5,2 мг/кг (0,8-3,3%).

За 40 лет наблюдений содержание минерального азота в слое 0-20 см без применения удобрений изменялось незначительно, прослеживается тенденция его уменьшения к середине периода наблюдений и дальнейшей стабилизации на уровне 3,3 мг/100 г почвы. (табл. 5). При систематическом применении двойной дозы NPK указанный показатель заметно превосходил контроль во все периоды, особенно в последние 10 лет - на 1,1 мг/100 г почвы.

В течение 40 лет содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы по сравнению с исходным на варианте без удобрений в начале снижалось незначительно, но в дальнейшем более резко, в 2 раза. На удобренных вариантах это проявляется в меньшей степени благодаря вносимому фосфорному удобрению. Так или иначе происходил процесс накопления подвижного фосфора в пахотном слое по сравнению с контролем, хотя исходный уровень не был достигнут.

Таблица 5 - Изменение содержания минерального азота в 0-20 см слое чернозема выщелоченного в зависимости от системы удобрения, мг/100 г почвы, среднее за 1972-2012 гг.

(Дзанагов С.Х., Лазаров Т.К., Басиев А.Е. и др., 2014)

Вариант	Годы				
	1971 г.	1976 г.	1987 г.	2003 г.	2012 г.
Аммонийный азот N-NH ₄ + нитратный азот N-NO ₃ (сумма)					
Без удобрений	2,9	2,9	2,3	3,4	3,3
N ₂ P ₂ K ₂		2,9	4,1	4,3	4,4
Навоз+NPK		3,9	3,3	4,4	4,6
Подвижный фосфор					
Без удобрений	15,6	15,3	14,8	8,1	7,5
N ₂ P ₂ K ₂		12,9	15,9	10,0	9,4
Навоз+NPK		13,5	16,1	11,5	9,6
Обменный калий					
Без удобрений	19,1	17,4	13,4	15,8	12,8
N ₂ P ₂ K ₂		11,8	15,5	16,8	15,9
Навоз+NPK		10,5	14,7	16,9	15,6

Без применения удобрений содержание обменного калия в пахотном слое чернозема выщелоченного со временем убывало и за 40 лет оно снизилось на 6,3 мг/100 г почвы за счет ежегодного выноса калия урожаем выращиваемых культур и, возможно, некоторой миграцией его катионов по профилю почвы. На удобренных вариантах происходила идентичная динамика с той лишь разницей, что они превосходили контроль на 2,8-3,1 мг /100 г почвы. При этом следует отметить, что эквивалентные варианты двойной дозы NPK и навоз + NPK практически не отличались друг от друга.

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА КУЛЬТУР ПОЛЕВОГО СЕВООБОРОТА

По мере увеличения уровня минерального питания **рост** растений всех культур изучаемого севооборота усиливался. Максимальной высота растений всех культур отмечена в фазу цветения - начала созревания. Совместное внесение органических и минеральных удобрений практически не имело преимущества перед внесением одних минеральных. Наибольшая высота растений отмечена в расчетном варианте: люцерны и клевера –105 и 102 см (превышение контроля 72 и 55%) перед вторым укосом, озимой пшеницы - 79,6 см (31%) в фазу колошения-цветения, кукурузы на зерно и на силос - 223 и 220 см (27 и 23%) в фазу молочной спелости, суданской травы - 187 см (43%) перед 2-м укосом.

Увеличение **площади листьев** растений происходило по мере их роста - менее энергично в начале вегетации и интенсивно к началу цветения. Удобренные варианты отличались большей листовой поверхностью (рис. 1).

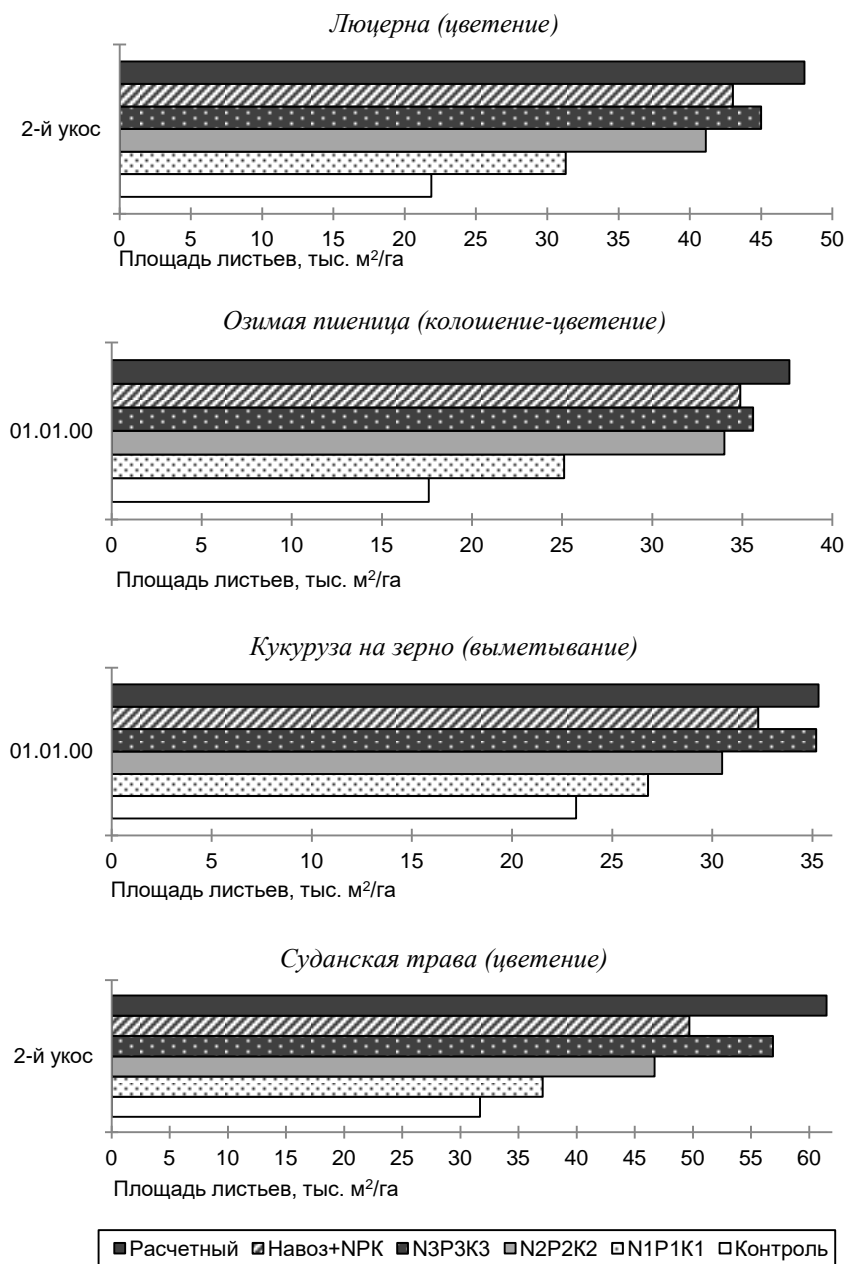


Рис. 1. Площадь листьев растений культур севооборота (максимальная) в зависимости от удобрений (ср. за 4 ротации)

Площадь листьев люцерны на расчетном варианте во время 1-го и 2-го укосов составляла 37,6 и 48,0 тыс. м²/га, что превышало аналогичный показатель контрольного варианта на 114 и 119% соответственно, а среднесуточный прирост (в течение 35 дней до укосов) - 543 и 642 м²/га/сут.

Увеличение листовой поверхности озимой пшеницы более энергично проходило от весеннего кущения до фазы колошения, причем на удобренных вариантах темпы прироста были существеннее – среднесуточный прирост а на отрезке «конец апреля - конец мая» (выход в трубку – колошение) составил - 392-486 м²/га/сут. Наибольшей площадь листьев отмечена в расчетном варианте – 50,0 тыс. м²/га (превышение контроля - 69%).

Среднесуточный прирост листовой поверхности кукурузы был наибольшим в межфазный период «5-6 листьев – выметывание» и составлял на неудобренном контроле 486 и 439 м²/га/сут. соответственно по кукурузе на зерно и на силос, а на удобренных вариантах – 560 и 523-673 м²/га/сут. Наибольшей площадью листьев кукурузы на зерно и на силос отличался расчетный вариант в фазу выметывания – 35,3 и 32,5 тыс. м²/га (превышение контроля на 52 и 47%).

Наибольшей площадью листьев суданской травы в течение вегетации отличались растения расчетного варианта - в периоды 1-го, 2-го и 3-го укосов она составляла 53,9; 61,5 и 58,9 тыс. м²/га и была больше, чем на контроле на 97, 94 и 94% соответственно.

Процесс формирования **сухой биомассы** культур полевого севооборота проходил одновременно и в прямой зависимости от роста растений и формирования листового аппарата (рис. 2). Относительное содержание сухого вещества в растениях при внесении удобрений снижалось, однако за счет формирования большей биомассы сбор его с единицы площади значительно превышал контроль.

Люцерна на неудобренном контроле накапливала сухого вещества 1,15 т/га перед 1-м укосом и 1,12 т/га - перед вторым. По мере увеличения уровня минерального питания сбор сухого вещества увеличивался: на 0,54-1,60 т/га (46-131%) перед первым укосом и на 0,65-1,88 т/га (58-168%) - перед вторым. Больше сухого вещества накапливалось в вариантах расчетном и N₃P₃K₃. Аналогичные закономерности процесса накопления сухого вещества и участия в нем удобрений наблюдались и на клевере луговом.

Процесс накопления сухого вещества озимой пшеницей осенью происходил крайне слабо, к фазе молочной спелости его запас пополнился на 85-88%, а к фазе восковой спелости достиг своего максимума: на контроле 6,35 т/га (2-е поле), а при внесении одинарной дозы NPK этот показатель увеличился на 1,94 т/га (31%); двойной - на 6,31 т/га (99%) – по минеральной системе и 6,44 т/га (101%) – по органо-минеральной. Наибольший прирост сухого вещества обеспечил вариант с тройной дозой NPK – 6,53 т/га (103%), хотя этот вариант, в конечном итоге, уступал вариантам с двойной дозой NPK по урожайности зерна. Очевидно, преимущество в сухом веществе было достигнуто за счет накопления его в побочной продукции.

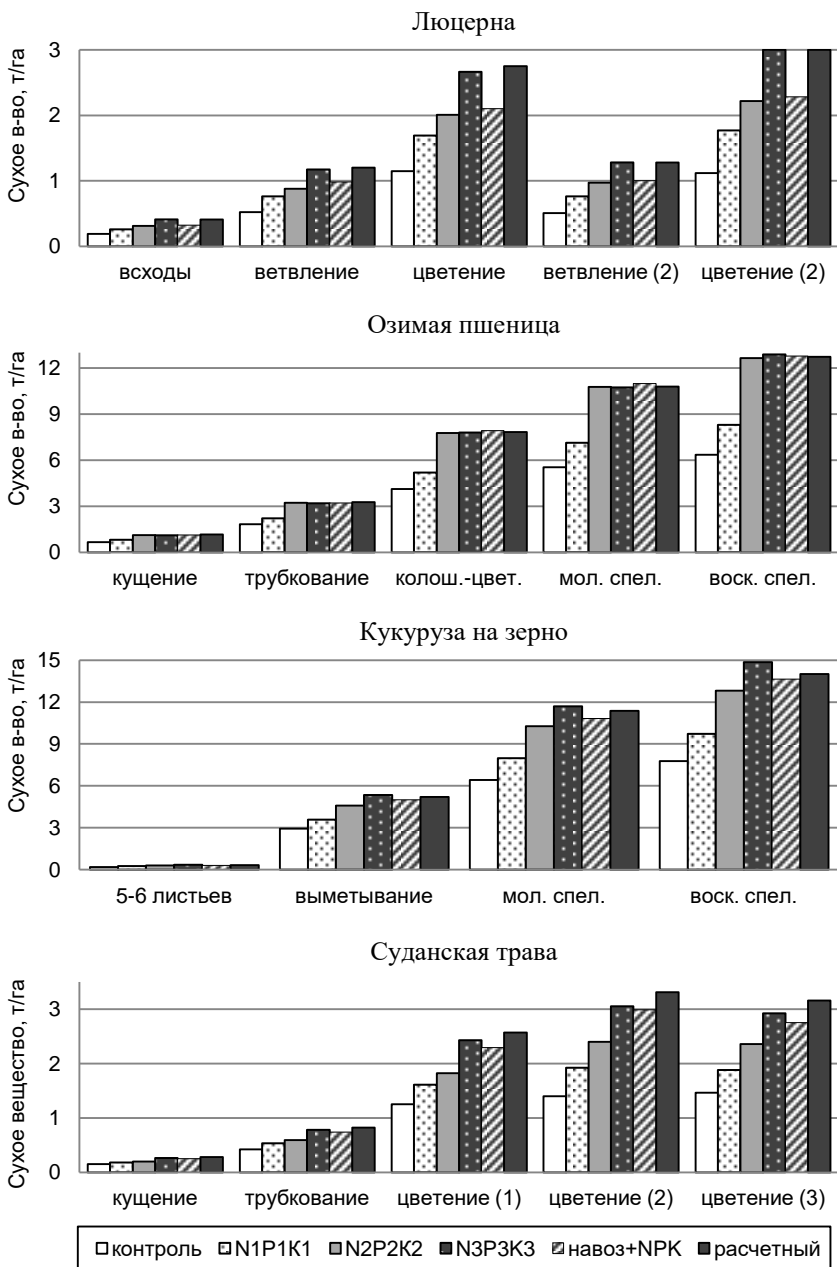


Рис. 2. Накопление сухого вещества растениями культур севооборота в зависимости от удобрений

Кукуруза на зерно наиболее интенсивно накапливала сухое вещество перед цветением. По мере повышения доз удобрений накопление сухого вещества увеличивалось. Наилучшими оказались варианты $N_3P_3K_3$ и расчетный, превысившие по этому показателю контроль в фазу восковой спелости соответственно на 7,08 и 6,24 т/га (91 и 80%). Динамика накопления сухого вещества в растениях кукурузы на силос была аналогичной, но в отличие от кукурузы на зерно, наибольшим накоплением сухого вещества отличался вариант навоз+НРК, превзошедший контроль на 7,28 т/га (108%).

В растениях суданской травы в сумме за 3 укоса на варианте без удобрений накапливалось 4,10 т/га сухой биомассы. Внесение одинарной, двойной и тройной доз НРК увеличило ее сбор соответственно на 1,30; 2,47 и 4,30 т/га (32, 60 и 105%), а наибольший сбор обеспечил расчетный вариант - 9,03 т/га, что выше, чем на контроле на 4,93 т/га (120%).

Фотосинтетический потенциал (ФП) и чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) посева каждой культуры севооборота изменялись в зависимости от формирования листовой поверхности и накопления сухого вещества. Удобрения изменяли эти показатели.

По мере повышения уровней питания суммарный годовой ФП люцерны увеличивался на 0,48-1,73 млн. $m^2 \times \text{дней/га}$ (33-119%), а преимущество имел расчетный вариант. ЧПФ в среднем за год на вариантах $N_3P_3K_3$ и расчетном превышала контроль соответственно на 0,23-0,34 $г/м^2/сут.$ (16-24%).

ФП посева озимой пшеницы максимальной величины достигал в межфазный период «колошение – молочная спелость». Удобрения повышали этот показатель на 0,50-1,39 млн. $m^2 \times \text{дней/га}$ (27-76%) с преимуществом тройной и расчетной доз удобрений. За период весенне-летней вегетации ЧПФ под влиянием высоких доз удобрений повышалась на 0,32-0,33 $г/м^2/сут.$ (12,0-12,5%), средних - 0,50-0,51 $г/м^2/сут.$ (18,6-19,1%).

Наибольшее значение ФП посева кукурузы на зерно отмечено в период «выметывание – молочная спелость». В сумме за период вегетации ФП достигал 1,44 млн. $m^2 \times \text{дней/га}$ на контроле и увеличивался под влиянием удобрений на 0,32-0,89 млн. $m^2 \times \text{дней/га}$ (22- 62%). ЧПФ была наибольшей в межфазный период «5-6 листьев – выметывание» и увеличивалась за счет удобрений на 1,98-2,13 $г/м^2/сут.$ (45-48%) с преимуществом варианта $N_3P_3K_3$. На посеве кукурузы на силос наблюдались аналогичные закономерности.

ФП посева суданской травы был наибольшим при формировании биомассы 1-го укоса. В сумме за 3 укоса за счет удобрений ФП увеличился на 0,31-1,38 млн. $m^2 \times \text{дней/га}$ (19-84%), а ЧПФ - на 0,27-0,49%. Однако внушительно опережал вариант навоз + НРК, на котором показатель ЧПФ превышал контроль на 0,64 $г/м^2/сут.$, или 27%.

В итоге, установлена прямая линейная зависимость фотосинтетической деятельности культур севооборота от обеспеченности почвы подвижными формами основных питательных элементов. Исключение любого элемента минерального питания скажется на интенсивности фотосинтеза. Однако ряд

элементов играет важную специфическую роль. Азот, например, является и составной частью хлорофилла и многочисленных белков-ферментов, без которых невозможен фотосинтез. На всех этапах фотосинтеза принимают участие фосфорилированные соединения, а энергия света аккумулируется в фосфорных связях. Это придает важное значение фосфору.

Процесс **потребления основных питательных элементов** культурами севооборота протекал аналогично накоплению сухого вещества в растениях. Общая закономерность этого процесса состояла в постепенном снижении концентрации азота, фосфора и калия в растениях в течение вегетации и увеличении абсолютного содержания этих элементов по мере роста и развития растений. В периоды интенсивного роста и развития растений концентрация азота, фосфора и калия в них снижалась сильнее, очевидно, в результате разбавления питательных веществ в растущих клетках растительного организма. На удобренных вариантах эти закономерности проявлялись в той же мере, но и относительное и абсолютное содержание питательных элементов в растениях было существенно выше, причем повышалось оно по мере увеличения доз удобрений. Наибольшей концентрацией во все фазы отличались варианты $N_3P_3K_3$ и расчетный. В то же время происходило абсолютное накопление этих элементов в растениях в расчете на 1 га, которое увеличивалось по мере повышения доз удобрений.

УРОЖАЙНОСТЬ КУЛЬТУР И ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕВООБОРОТА ПОД ВЛИЯНИЕМ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЯ

Длительное систематическое применение удобрений оказывало положительное влияние на урожайность культур севооборота (табл. 6).

В среднем за 4 ротации суммарная (по 2 укоса за вегетацию) урожайность зеленой массы **многолетних трав** на варианте без удобрений составила 12,4 т/га. Внесение одинарной дозы НРК увеличило ее на 7,1 т/га (58%). При повышении уровня питания до двойного и тройного прибавка составила соответственно 11,2 и 18,9 т/га (113 и 153%), а в расчетном варианте - 19,0 т/га (154%). Наиболее результативными оказались варианты $N_3P_3K_3$ и расчетный, которые обеспечили 18,9 и 19,0 т/га (по 153%) прибавки.

От увеличения доз отдельных питательных элементов в составе удобрения наибольший эффект получен при совместном увеличении азота и фосфора – 3,1-9,5 т/га (16-44%) прибавки, затем фосфора и азота в отдельности – 6,7 т/га (34%) и 5,0 т/га (24%) соответственно, а удвоение дозы калия на фоне N_2P_2 дало несущественный эффект.

Выявлена линейная зависимость урожайности многолетних трав от обеспеченности почвы: умеренная - подвижным (аммонийным и нитратным) азотом ($r=0,63$), сильная - обменным калием ($r=0,78$) и весьма сильная - подвижным фосфором ($r=0,85$). Уравнение регрессии имеет вид:

$$Y = 0,19 N (NH_4^+ + NO_3^-) + 0,29 P_2O_5 + 0,50 K_2O - 94,75; R^2 = 0,88.$$

Таблица 6 – Урожайность культур и продуктивность полевого севооборота под влиянием длительного систематического применения удобрений, т/га

Вариант	1-е поле	2-е поле	3-е поле	4-е поле		5-е поле	Среднего- довая про- дуктив- ность, т /га з.е.	Прирост продуктив- ности		Доля участия удобрений в формиро- вании урожая, %
	Много- летние травы, з.м.	Озимая пшеница, зерно	Кукуруза на зерно, зерно	Судан- ская травы, з.м.	Кукуруза на силос, з.м.	Озимая пшеница, зерно		т/га з.е.	%	
Контроль	12,4	2,80	3,77	24,1	20,6	2,71	4,27	-	-	-
N ₁ P ₁ K ₁	19,5	3,99	4,87	31,8	26,2	3,75	5,82	1,55	36	26,6
N ₂ P ₁ K ₁	21,6	4,54	5,39	34,5	29,1	4,29	6,67	2,40	56	35,9
N ₁ P ₂ K ₁	21,3	4,52	5,34	35,4	28,4	4,63	6,71	2,44	57	36,4
N ₂ P ₂ K ₁	22,6	5,26	5,98	37,6	32,3	5,38	7,58	3,31	78	43,7
N ₂ P ₂ K ₂	23,6	5,71	6,23	38,7	33,8	5,69	7,94	3,67	86	46,2
N ₃ P ₂ K ₁	26,3	4,86	6,58	41,6	37,1	4,93	7,80	3,52	82	45,2
N ₃ P ₂ K ₂	26,3	5,24	6,72	42,2	38,3	5,13	8,08	3,81	89	47,1
N ₂ P ₃ K ₁	28,3	5,08	6,69	42,1	36,3	5,05	7,92	3,65	85	46,1
N ₂ P ₃ K ₂	28,0	5,13	6,86	42,9	37,6	5,11	7,98	3,71	87	46,5
N ₃ P ₃ K ₁	28,9	5,21	6,87	45,4	36,8	5,19	8,20	3,93	92	47,9
N ₃ P ₃ K ₃	31,3	5,51	7,55	49,4	42,2	5,47	8,83	4,56	107	51,6
Навоз+NPK	24,4	5,81	6,48	47,2	34,2	5,77	8,26	3,98	93	48,3
Расчетный	31,4	5,42	8,34	53,1	46,2	5,50	8,98	4,71	110	52,4

Примечание: в среднем за 4 ротации вариант N₁P₁K₁ соответствовал дозе N₂₅P₃₅K₃₅, а расчетный – N₇₁P₁₄₄K₉₉.

Коэффициенты корреляции между урожайностью и дозами удобрений характеризовали линейную зависимость как сильную - от внесения калия ($r=0,74$), весьма сильную - азота ($r=0,90$) и очень сильную - фосфора ($r=0,91$). Уравнение регрессии:

$$Y = 12,758 + 0,167 N + 0,075 P_2O_5 + 0,019 K_2O; R^2 = 0,98 \text{ (люцерна);}$$

$$Y = 13,789 + 0,106 N + 0,030 P_2O_5 + 0,012 K_2O; R^2 = 0,86 \text{ (клевер);}$$

Внесение удобрений обеспечило прибавку урожая зерна **озимой пшеницы** (2-е поле) по одинарной дозе на 1,19 т/га (43%), двойной - на 2,91 т/га (104%) по минеральной системе и 3,01 т/га (107%) - по органо-минеральной. Дальнейшее увеличение доз удобрений оказалось неэффективным.

По влиянию каждого из трех элементов в отдельности в составе НРК, можно выделить преимущество одновременного удвоения доз азота и фосфора - прибавка 1,64 т/га (44%). Одностороннее удвоение доз азота на фоне P_1K_1 , фосфора на фоне N_1K_1 и калия на фоне N_2P_2 показало одинаковый эффект: эти варианты обеспечили прибавку по 0,5 т/га (9-14%).

Выявлена линейная зависимость урожайности зерна озимой пшеницы от обеспеченности почвы: сильная - подвижным (аммонийным и нитратным) азотом ($r=0,79$), и весьма сильная - подвижным фосфором ($r=0,81$) и обменным калием ($r=0,84$). Уравнение регрессии имеет вид:

$$Y = 0,039 N (NH_4^+ + NO_3^-) + 0,019 P_2O_5 + 0,085 K_2O - 12,65; R^2 = 0,79;$$

Коэффициенты корреляции между урожайностью и дозами удобрений характеризовали линейную зависимость как весьма сильную - от внесения азота ($r=0,76$), фосфора ($r=0,78$) и калия ($r=0,77$). Уравнение регрессии:

$$Y = 3,22 + 0,005 N + 0,008 P_2O_5 + 0,011 K_2O; R^2 = 0,78;$$

При сравнении урожайных данных по озимой пшенице 2-го и 5-го полей севооборота проявляются аналогичные закономерности влияния удобрений.

В отличие от озимой пшеницы, **кукуруза на зерно** положительно отзывалась на внесение высоких доз удобрений. При внесении одинарной дозы НРК урожайность зерна повысилась на 1,11 т/га (29%), двойной - на 2,46 т/га (65%), тройной - 3,78 т/га (100%), а расчетной - 4,57 т/га (121%). Одностороннее увеличение дозы азота и дозы фосфора было одинаково эффективно: в обоих случаях обеспечивалась прибавка 0,49-0,59 и 0,47-0,71 т/га (8-11 и 9-11%) по разным фонам. Одновременное увеличение доз азота и фосфора обеспечило прибавку урожая зерна более существенно - 1,11-2,00 т/га (23-41%).

Выявлена линейная зависимость урожайности зерна кукурузы от обеспеченности почвы: сильная - обменным калием ($r=0,73$); весьма сильная - подвижным (аммонийным и нитратным) азотом ($r=0,86$) и очень сильная - подвижным фосфором ($r=0,91$). Уравнение регрессии имеет вид:

$$Y = 3,57 + 0,013 N (NH_4^+ + NO_3^-) + 0,011 P_2O_5 + 0,012 K_2O; R^2 = 0,96.$$

Между урожайностью и дозами удобрений выявлена весьма сильная линейная зависимость от внесения азота ($r=0,90$), фосфора ($r=0,83$) и калия ($r=0,82$), которая выражена уравнением регрессии:

$$Y = 3,57 + 0,013 N + 0,011 P_2O_5 + 0,012 K_2O; R^2 = 0,96.$$

Внесение навоза в сочетании с минеральными удобрениями не имело преимуществ перед внесением одних минеральных.

Урожайность **кукурузы на силос** имела аналогичные с кукурузой на зерно закономерности зависимости от удобрений. Наибольшей урожайностью отличался расчетный вариант, обеспечивший прибавку 27,6 т/га (134%).

Линейную зависимость урожайности кукурузы на силос от доз вносимых удобрений можно характеризовать как: очень сильную - от внесения азота ($r=0,93$), весьма сильную - калия ($r=0,82$) и сильную - от внесения фосфора ($r=0,80$), и выразить уравнением регрессии:

$$Y = 18,86 + 0,093 N + 0,50 P_2O + 0,058 K_2O; R^2 = 0,96.$$

Урожайность зеленой массы **суданской травы** (за 3 укоса) по мере повышения доз удобрений от одинарной до тройной увеличивалась на 7,7-25,3 т/га (32-105%), а наибольшей урожайностью характеризовался расчетный вариант, который обеспечил прибавку 29,0 т/га (120%). Увеличение в одностороннем порядке дозы азота в составе NPK повысило прибавку на 2,7-6,7 т/га (9-13%), а фосфора - на 3,7-8,2 т/га (12-23%) по разным фонам. Более эффективно проявилось одновременное увеличение доз азота и фосфора на фоне одинарного калия - прибавка увеличилась на 5,8-13,7 т/га (18-39%). Органо-минеральная система удобрения имела существенное преимущество перед минеральной - урожайность зеленой массы повысилась на 8,5 т/га (22%).

Линейную зависимость урожайности зеленой массы суданской травы можно считать весьма сильной - от внесения азота ($r=0,87$) и калия ($r=0,83$) и сильной - от фосфора ($r=0,76$). Уравнение регрессии:

$$Y = 23,36 + 0,079 N + 0,089 P_2O + 0,110 K_2O; R^2 = 0,92.$$

Результаты расчетов свидетельствуют о положительном влиянии вносимых удобрений на показатели **среднегодовой продуктивности полевого севооборота**. В среднем за 20-летний период (4 ротации) по всем вариантам системы удобрения она возросла на 2,40-4,71 т/га з.е. (36-110%), причем прирост продуктивности увеличивался по мере повышения доз удобрений.

По влиянию повышенных доз отдельных элементов в составе NPK можно выделить варианты совместного внесения азота и фосфора - прибавка составила 1,76 т/га з.е. (30%), а увеличение доз элементов питания по отдельности на продуктивность особого влияния не оказывало.

При сравнении минеральной и органо-минеральной систем удобрения выявлено небольшое преимущество последней. Прирост продуктивности при этом составил 0,89 т/га з.е., или 11%.

Наибольшую продуктивность севооборота обеспечила расчетная доза удобрений - 8,98 т/га з.е., что превышало аналогичный показатель варианта без удобрений на 4,71 т/га (110%), то есть более чем в 2 раза.

Доля участия удобрений в формировании продуктивности росла по мере увеличения их доз с 26,6 до 52,4 и имела максимальное значение в расчетном варианте.

Между продуктивностью севооборота и дозами удобрений существует линейную зависимость: очень сильная - от внесения фосфора ($r=0,91$), весьма сильная - калия ($r=0,87$) и азота ($r=0,86$). Уравнение регрессии:

$$Y_{\text{(прод.)}} = 0,067 N(NH_4^+ + NO_3^-) + 0,036 P_2O_5 + 0,168 K_2O - 26,60; R^2 = 0,77.$$

В отношении обеспеченности почвы подвижным азотом и фосфором выявлена весьма сильная зависимость ($r=0,89$ и $0,89$), а калием - сильная зависимость ($r=0,80$). Уравнение регрессии:

$$Y_{\text{(прод.)}} = 4,51 + 0,011 N + 0,013 P_2O + 0,009 K_2O; R^2 = 0,95;$$

Таким образом, с увеличением уровня удобренности продуктивность увеличивается, хотя на отрезке от двойной дозы до тройной эффект выражен слабо. Вариант с органо-минеральной системой имел незначительное преимущество по сравнению с минеральной, однако с учетом положительного влияния навоза на свойства почвы он заслуживает предпочтения.

КАЧЕСТВО УРОЖАЯ КУЛЬТУР СЕВОБОРОТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УДОБРЕНИЙ

Результаты исследований по влиянию удобрений на качество культур полевого севооборота показывают, что на удобренных вариантах содержание N, P и K в продукции всех культур было выше, чем на контроле (табл. 7, 8, 10-12). Однако это повышение проявлялось в разной степени по элементам: в большей степени возрастало содержание азота, в меньшей – фосфора и калия. В целом можно отметить, что преобладание каждого элемента в составе NPK приводило к увеличению его концентрации в растительной продукции, в частности, повышенные дозы N в составе NPK увеличили содержание азота, а, следовательно, и протеина в урожае всех культур. Соответственно повышалось содержание фосфора и калия, но в меньшей степени.

Систематическое применение удобрений в севообороте оказывало положительное влияние на качество люцерны (табл. 7).

Таблица 7 - Химический состав и качество люцерны в зависимости от удобрений, % к сухому веществу (ср. за 1994 и 2001 гг.)

Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Про-теин	Жир	Клет-чатка	Зола	БЭВ
Контроль	2,93	0,75	2,46	18,3	2,02	27,1	7,9	44,7
N ₁ P ₁ K ₁	2,99	0,79	2,61	18,7	2,24	29,1	8,2	41,8
N ₂ P ₁ K ₁	3,04	0,80	2,64	19,0	2,10	27,8	8,1	43,1
N ₁ P ₂ K ₁	3,01	0,82	2,67	18,8	2,10	28,9	7,8	42,4
N ₂ P ₂ K ₁	3,09	0,83	2,64	19,3	2,21	27,8	7,9	42,8
N ₂ P ₂ K ₂	3,14	0,84	2,72	19,6	2,41	26,3	8,0	43,7
N ₃ P ₂ K ₁	3,20	0,84	2,68	20,0	2,11	28,9	8,1	40,9
N ₃ P ₂ K ₂	3,24	0,84	2,74	20,3	2,05	26,2	8,2	43,3
N ₂ P ₃ K ₁	3,15	0,86	2,72	19,7	2,18	25,4	8,4	44,4
N ₂ P ₃ K ₂	3,17	0,85	2,79	19,8	2,27	26,0	8,3	43,5
N ₃ P ₃ K ₁	3,26	0,86	2,77	20,4	2,09	25,0	8,1	44,4
N ₃ P ₃ K ₃	3,29	0,87	2,83	20,5	2,17	26,0	8,2	43,1
Навоз+NPK	3,17	0,84	2,72	19,8	2,19	26,4	8,3	43,3
Расчетный	3,33	0,89	2,88	20,8	2,43	28,9	8,6	39,2

Примечание: в среднем за 1994 и 2001 гг. в варианте N₁P₁K₁ доза удобрений соответствовала N₂₀P₄₀K₄₀, а в расчетном – N₆₅P₁₂₅K₁₀₀.

Удобрения увеличивали содержание протеина в сене люцерны, существенное - на вариантах с тройной дозой азота – на 1,72-2,53%, при 18,3% на контроле. Наибольшее содержание протеина наблюдалось в люцерне расчетного варианта - 20,8%, что превышало контроль на 2,5%. По содержанию жира удобренные варианты отличались от контроля в сторону повышения – на 0,07-0,41%. Наибольшее содержание жира наблюдалось в расчетном варианте - 2,43% против 2,02% на контроле.

Содержание клетчатки по всем удобренным вариантам было практически одинаковым. Зольность сена удобренных вариантов была выше, чем на контроле, хотя и малосущественно, а содержание БЭВ – ниже.

Аналогичные закономерности изменения качества сена наблюдались и на клевере луговом.

Наибольшее содержание протеина наблюдалось в зерне озимой пшеницы вариантов расчетного и $N_3P_3K_3$ – по 15,5% (табл. 8).

Таблица 8 - Химический и биохимический состав и качество зерна озимой пшеницы (2-е поле) в зависимости от удобрений, % к сухому веществу (ср. за 4 ротации)

Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Протеин	Жир	Клетчатка	Зола
Контроль	2,33	0,82	0,49	13,6	2,11	3,54	2,15
$N_1P_1K_1$	2,44	0,86	0,49	14,2	1,87	3,56	2,15
$N_2P_1K_1$	2,50	0,87	0,50	14,6	1,91	3,39	2,19
$N_1P_2K_1$	2,44	0,90	0,50	14,2	2,06	3,48	2,18
$N_2P_2K_1$	2,54	0,89	0,51	14,8	2,08	3,54	2,19
$N_2P_2K_2$	2,55	0,91	0,52	14,8	2,20	3,46	2,23
$N_3P_2K_1$	2,61	0,90	0,51	15,2	2,04	3,54	2,24
$N_3P_2K_2$	2,60	0,90	0,52	15,1	1,96	3,65	2,23
$N_2P_3K_1$	2,56	0,92	0,51	14,9	2,06	3,57	2,21
$N_2P_3K_2$	2,55	0,92	0,52	14,9	2,07	3,66	2,20
$N_3P_3K_1$	2,63	0,92	0,51	15,3	1,86	3,68	2,20
$N_3P_3K_3$	2,66	0,93	0,54	15,5	1,93	3,58	2,27
Навоз+NPK	2,58	0,89	0,52	15,0	2,31	3,63	2,16
Расчетный	2,67	0,93	0,53	15,5	1,94	3,46	2,22

Примечание: в среднем за 4 ротации в варианте $N_1P_1K_1$ доза удобрений соответствовала $N_{50}P_{40}K_{40}$, а в расчетном – $N_{110}P_{91}K_{71}$.

Отмечено снижение содержания жира по сравнению с контролем, хотя и в небольшой степени, по всем вариантам кроме навоз + NPK и $N_2P_2K_2$. Из отдельных элементов, поддерживающих содержание жира в зерне, необходимо отметить фосфор. По клетчатке определенной закономерности выявить не удалось. Наибольшую зольность можно отметить в вариантах с внесением повышенных доз NPK.

Применение удобрений в большинстве вариантов увеличивало массу 1000 зерен. Не изменялся или незначительно снижался этот показатель на вариантах с односторонним удобрением доз азота и фосфора (табл. 9).

Таблица 9 - Физические и технологические свойства зерна озимой пшеницы (2-е поле) в зависимости от удобрений (ср. за 4 ротации)

Вариант	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Стекловидность, %	Сырая клейковина		
				содержание, %	ИДК (усредненное)	группа качества
Контроль	31,2	759	49	25,6	88	II
N ₁ P ₁ K ₁	32,6	763	52	27,2	77	I
N ₂ P ₁ K ₁	32,8	753	53	28,1	79	II
N ₁ P ₂ K ₁	32,4	758	52	26,7	82	II
N ₂ P ₂ K ₁	33,8	754	54	28,4	85	II
N ₂ P ₂ K ₂	34,0	754	56	28,5	74	I
N ₃ P ₂ K ₁	31,7	747	61	30,0	84	II
N ₃ P ₂ K ₂	32,0	753	59	29,2	79	II
N ₂ P ₃ K ₁	31,1	753	59	29,1	83	II
N ₂ P ₃ K ₂	31,4	757	59	29,2	81	II
N ₃ P ₃ K ₁	31,5	751	61	29,9	86	II
N ₃ P ₃ K ₃	32,3	749	59	29,9	80	II
Навоз+NPK	33,2	762	58	29,1	73	I
Расчетный	32,4	754	61	29,4	74	I

Примечание: в среднем за 4 ротации в варианте N₁P₁K₁ доза удобрений соответствовала N₅₀P₄₀K₄₀, а в расчетном – N₁₁₀P₉₁K₇₁.

По натурной массе зерна почти все удобренные варианты незначительно уступали неудобренному контролю, причем с увеличением уровня удобренности этот показатель снижался в большей степени. Незначительное преимущество над контролем имели варианты N₂P₃K₁ и навоз+NPK – 763 и 762 против 759 г/л на контроле.

Суммарная оценка полученных показателей указывала на преимущество внесения расчетной дозы, обеспечившей получение зерна 1-й группы качества с содержанием протеина 15,5%, стекловидностью 61%, содержанием сырой клейковины 29,4%.

Максимальная упругость клейковины (I группа качества) отмечена на вариантах (в скобках – показания ИДК): N₁P₁K₁ (77), N₂P₂K₂ (74), навоз + NPK (73) и расчетном – (74). Ярко прослеживается закономерность улучшения качества клейковины от внесения умеренных и сбалансированных доз удобрений. Наихудшим оказался вариант N₃P₃K₁ (86) при показании ИДК на контроле - 88.

Аналогичные закономерности с некоторой разницей в значениях показателей наблюдались и на озимой пшенице в 5-м поле севооборота.

Содержание протеина в зерне кукурузы увеличивалось пропорционально содержанию азота при внесении одинарной дозы NPK на 1,0; двойной - на 2,2% (что является максимальным показателем); тройной – на 1,5%, а на расчетном варианте на 1,9% по сравнению с контролем (табл. 10).

Таблица 10 - Химический состав и качество зерна кукурузы в зависимости от удобрений, % к сухому веществу (среднее за 4 ротации)

Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Протеин	Жир	Крах-мал	Клет-чатка	Зола
Контроль	1,50	0,70	0,46	8,9	4,00	60,3	3,64	1,31
N ₁ P ₁ K ₁	1,67	0,76	0,51	9,9	4,05	61,1	3,29	1,64
N ₂ P ₁ K ₁	1,69	0,79	0,51	10,0	4,03	60,9	3,49	1,60
N ₁ P ₂ K ₁	1,65	0,79	0,52	9,8	4,05	61,3	3,43	1,66
N ₂ P ₂ K ₁	1,82	0,83	0,53	10,8	3,94	60,3	3,50	1,64
N ₂ P ₂ K ₂	1,87	0,80	0,56	11,1	3,75	59,5	3,76	1,70
N ₃ P ₂ K ₁	1,68	0,83	0,53	10,0	3,68	60,1	3,54	1,66
N ₃ P ₂ K ₂	1,79	0,88	0,54	10,6	3,75	58,4	3,63	1,65
N ₂ P ₃ K ₁	1,62	0,85	0,51	9,6	3,62	60,8	3,79	1,63
N ₂ P ₃ K ₂	1,72	0,76	0,53	10,2	3,73	59,6	3,61	1,61
N ₃ P ₃ K ₁	1,77	0,75	0,52	10,5	3,68	58,6	3,74	1,61
N ₃ P ₃ K ₃	1,75	0,81	0,54	10,4	3,65	58,4	3,83	1,60
Навоз+NPK	1,78	0,79	0,52	10,6	3,63	60,1	3,66	1,60
Расчетный	1,81	0,83	0,54	10,8	3,69	56,9	3,87	1,64

Примечание: в среднем за 4 ротации в варианте N₁P₁K₁ доза удобрений соответствовала N₄₃P₄₀K₃₈, а в расчетном – N₁₄₃P₉₃K₁₁₅.

Умеренные дозы удобрений незначительно повышают содержание жира в зерне кукурузы, а высокие – снижают (тенденция). Наилучшими оказались варианты: N₁P₁K₁, N₂P₁K₁ и N₁P₂K₁ - 4,03-4,05%, против 4,00% на контроле. Содержание клетчатки и золы в зерне кукурузы на удобренных вариантах изменялось незначительно - различия между ними находились в небольших пределах, при этом лишь варианты с повышенными дозами NPK были выше контроля, либо на его уровне, а остальные уступали ему.

Содержание протеина в сухом веществе листостебельной массы кукурузы на силос было максимальным на расчетном варианте и вариантах с тройной дозой азота – 8,8-9,2% (табл. 11).

На удобренных вариантах наблюдалась тенденция повышения содержания жира и клетчатки в исследуемых образцах. Удобренные варианты превышали контроль по содержанию жира на 0,28-0,76%, а клетчатки – на 0,3-4,7%. По содержанию золы явной закономерности не обнаружено. Содержание БЭВ на удобренных вариантах в целом было ниже, чем на контроле.

Содержание протеина в сене суданской травы на контроле составляло 9,7%, а существенное его увеличение произошло только с повышением доз азота до тройного уровня – на 1,2-1,6%. Наибольшее значение отмечено в расчетном варианте - 11,3% (табл. 12).

С повышением уровня питания содержание жира в сене увеличивалось (тенденция). Удобренные варианты слабо отличались от контроля (на 0,03-0,08%). Наибольшее содержание жира наблюдалось в вариантах: N₃P₃K₁ и расчетном – 1,20 и 1,19% против 1,12% на контроле.

Таблица 11 - Химический состав и качество листостебельной массы кукурузы в зависимости от удобрений, % к сухому веществу

Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Протеин	Жир	Клетчатка	Зола	БЭВ
Контроль	1,02	0,36	1,03	6,3	0,99	32,2	9,9	50,6
N ₁ P ₁ K ₁	1,29	0,42	1,34	8,1	1,36	31,1	10,5	49,0
N ₂ P ₁ K ₁	1,32	0,44	1,39	8,2	1,33	34,1	9,6	46,7
N ₁ P ₂ K ₁	1,38	0,47	1,42	8,6	1,29	33,1	10,0	47,0
N ₂ P ₂ K ₁	1,43	0,47	1,43	8,9	1,58	32,5	10,2	46,8
N ₂ P ₂ K ₂	1,48	0,48	1,53	9,3	1,57	32,7	10,3	46,2
N ₃ P ₂ K ₁	1,51	0,47	1,38	9,4	1,60	32,6	10,4	46,0
N ₃ P ₂ K ₂	1,50	0,46	1,45	9,4	1,49	32,9	10,7	45,5
N ₂ P ₃ K ₁	1,29	0,47	1,38	8,1	1,42	35,1	10,2	45,2
N ₂ P ₃ K ₂	1,28	0,46	1,43	8,0	1,67	31,1	11,6	47,7
N ₃ P ₃ K ₁	1,40	0,44	1,37	8,7	1,57	32,6	10,8	46,4
N ₃ P ₃ K ₃	1,48	0,47	1,29	9,2	1,38	36,9	10,2	42,4
Навоз+NPК	1,45	0,47	1,39	9,1	1,66	34,4	10,9	44,0
Расчетный	1,42	0,44	1,21	8,8	1,77	36,2	11,7	41,6

Примечание: в среднем за 2009 и 2015 гг. в варианте N₁P₁K₁ доза удобрений соответствовала N₄₀P₄₀K₄₀, а в расчетном – N₁₄₅P₉₅K₁₁₅.

Таблица 12 - Химический состав и качество сена суданской травы в зависимости от удобрений, % к сухому веществу

Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Протеин	Жир	Сахара	Зола	Клетчатка
Контроль	1,55	0,26	1,38	9,7	1,12	13,6	6,75	24,0
N ₁ P ₁ K ₁	1,59	0,26	1,44	9,9	1,16	13,8	6,84	24,7
N ₂ P ₁ K ₁	1,63	0,26	1,44	10,2	1,19	14,0	6,84	22,8
N ₁ P ₂ K ₁	1,61	0,27	1,47	10,0	1,18	14,9	6,98	22,9
N ₂ P ₂ K ₁	1,63	0,27	1,52	10,2	1,18	14,4	6,97	24,2
N ₂ P ₂ K ₂	1,65	0,27	1,56	10,3	1,16	13,7	7,22	22,5
N ₃ P ₂ K ₁	1,75	0,27	1,54	10,9	1,19	13,4	7,02	24,5
N ₃ P ₂ K ₂	1,75	0,27	1,57	10,9	1,18	13,4	7,22	25,7
N ₂ P ₃ K ₁	1,66	0,29	1,56	10,4	1,15	13,8	7,08	23,8
N ₂ P ₃ K ₂	1,67	0,29	1,58	10,4	1,15	13,9	7,29	24,8
N ₃ P ₃ K ₁	1,78	0,29	1,57	11,1	1,20	13,7	7,08	26,1
N ₃ P ₃ K ₃	1,80	0,29	1,60	11,2	1,18	13,7	7,70	24,0
Навоз+NPК	1,70	0,28	1,58	10,6	1,17	13,5	7,22	24,5
Расчетный	1,81	0,29	1,63	11,3	1,19	14,5	8,17	23,5

Примечание: в среднем за 1997 и 2004 гг. в варианте N₁P₁K₁ доза удобрений соответствовала N₄₀P₃₀K₃₀, а в расчетном – N₁₄₅P₆₀K₉₈.

Содержание сахаров и клетчатки по всем удобренным вариантам было практически одинаковым - оно находилось в интервале 13,4-14,9% и 22,5-26,1% при 13,6 и 24,0% на контроле. Наибольшее содержание сахаров зафиксировано в вариантах $N_1P_2K_1$ и расчетном, а клетчатки – 26,1% – в варианте $N_3P_3K_1$. Удобрения увеличивали содержание золы на 0,10-1,42% по всем вариантам, а преимущество имел расчетный вариант.

БАЛАНС ГУМУСА И ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В СЕВОБОРОТЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

В наших исследованиях удобрения оказывали существенное влияние на величину **выноса питательных веществ с урожаем** культур севооборота. По мере повышения уровня питания эти показатели увеличивались.

С урожаем 1 т сена люцерны выносит 24-27 кг азота, 6-7 кг фосфора и 21-23 кг калия, а клевер луговой соответственно – 15-19; 4-6 и 11-13 кг. Вынос с 1 т зерна озимой пшеницы азота, фосфора и калия составлял 28, 11 и 18 кг на неудобренном контроле и 28-37, 11-15 и 17-28 кг на удобренных вариантах. На создание 1 т урожая зерна кукурузы и соответствующего количество побочной продукции кукуруза потребляла азота, фосфора и калия: 22, 10 и 20 кг на контроле и 24-28, 10-11 и 21-26 - на удобренных вариантах. Вынос с 1 т зеленой массы кукурузы на неудобренном контроле составлял: азота – 3,6; фосфора – 1,3; калия – 3,6 кг. На всех удобренных вариантах эти показатели были выше и варьировали в пределах: по азоту - 3,5-5,3 кг, фосфору - 1,5-1,6 кг и калию - 4,2-5,4 кг. С урожаем 1 т сена суданская трава выносит 13-15 кг азота, 2,1-2,4 кг фосфора и 11-13 кг калия.

Все изучаемые культуры выносят с урожаем меньше фосфора. Вынос азота преобладает над выносом калия, причем наиболее существенно - у озимой пшеницы, менее - у кукурузы на зерно и трав, равноценно - у кукурузы на силос. С повышением доз удобрений последовательно повышается общий вынос питательных элементов с урожаем и в большинстве случаев на единицу продукции.

Полученные в результате 20-летних исследований данные о выносе основных питательных веществ с урожаем полевых культур мы рекомендуем в качестве оптимальных для расчета доз удобрений на запланированный урожай балансовым методом на черноземах выщелоченных Центральной части Северного Кавказа (табл. 13).

Результаты произведенного нами расчета **баланса основных питательных элементов** в почве под культурами севооборота представлены в табл. 14.

В течение 20 лет исследований в полевом севообороте по всем вариантам наблюдался отрицательный баланс азота. Значительно снижался дефицит азота на вариантах с утроенной в отдельности дозой азота – до 20-24%. Наибольший дефицит азота наблюдался в варианте $N_1P_2K_1$ - 74%.

Таблица 13 - Вынос основных питательных веществ сельскохозяйственными культурами на черноземе выщелоченном, кг/т основной продукции с учетом побочной (для практического пользования)

Культура	Вынос с 1 т основной продукции, кг		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая пшеница	33,3	13,0	23,5
Кукуруза - зерно	23,5	10,4	19,4
Кукуруза - силос	4,95	1,53	4,22
Люцерна - сено	27,5	7,3	23,5
Люцерна - зеленая масса	7,63	2,02	6,51
Клевер - сено	19,2	6,2	13,0
Клевер - зеленая масса	5,31	1,72	3,62
Суданская трава - сено	15,0	2,4	13,5
Суданская трава - зеленая масса	4,16	0,67	3,75

Таблица 14 - Баланс питательных веществ в черноземе выщелоченном под культурами полевой севооборота в результате длительного (20 лет) применения удобрений

Вариант	Поступление, кг/га			Вынос, кг/га			Баланс (+/-), кг/га			Интенсивность баланса, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	0	0	0	65	27	61	-65	-27	-61	-	-	-
N ₁ P ₁ K ₁	42	37	36	97	39	92	-55	-3	-56	43	93	39
N ₂ P ₁ K ₁	83	37	36	116	46	111	-33	-10	-75	71	79	32
N ₁ P ₂ K ₁	42	73	36	116	48	113	-74	25	-77	36	151	32
N ₂ P ₂ K ₁	83	73	36	140	57	134	-57	16	-98	59	129	27
N ₂ P ₂ K ₂	83	73	72	146	60	139	-63	13	-67	57	121	52
N ₃ P ₂ K ₁	125	73	36	147	59	136	-23	14	-100	85	125	27
N ₃ P ₂ K ₂	125	73	72	154	61	145	-29	12	-73	81	119	50
N ₂ P ₃ K ₁	83	110	36	141	61	139	-58	48	-103	59	178	26
N ₂ P ₃ K ₂	83	110	72	143	62	145	-60	48	-73	58	178	50
N ₃ P ₃ K ₁	125	110	36	154	64	148	-30	46	-112	81	172	24
N ₃ P ₃ K ₃	125	110	108	169	70	166	-44	39	-58	74	156	65
Навоз+NPK	83	73	72	153	63	146	-70	10	-74	54	117	49
Расчетный	124	100	99	173	72	165	-49	29	-66	71	140	60

Применение удобрений в севообороте обеспечило положительный баланс фосфора на всех удобренных вариантах, кроме двух вариантов с одинарной дозой фосфора. Внесение двойной дозы NPK обеспечило превышение поступления фосфора в почву на 21, а тройной - на 56%. Одностороннее увеличение доз фосфора повышало положительный баланс его в почве на 53-56% по разным фонам. Наибольший профицит фосфора отмечен в вариантах с тройной дозой фосфора в NPK – 172-178%.

Баланс калия в севообороте складывался со значительным дефицитом, интенсивность баланса колебалась в пределах 24-65%. Это обусловлено сравнительно низкими дозами калийных удобрений и наличием в севообороте калиелюбивых культур (люцерна, суданская трава). При внесении тройной дозы NPK дефицит калия снизился до 35%. Утроение доз азота и фосфора создавало еще больший дефицит калия. Вероятно, недостаток калия в составе удобрения способствует большему использованию его растениями из почвы. Удвоение дозы калия на фоне высоких доз азота и фосфора снижало его дефицит в почве до 65-67%, а утроение - до 55%. Наибольший дефицит калия наблюдался в вариантах $N_2P_3K_1$ и $N_3P_3K_1$ – по 84-86%, а наименьший - в вариантах $N_3P_3K_3$ и расчетном – 35-40%.

Баланс азота и калия в варианте навоз+NPK находился на том же уровне, что и в эквивалентном ему варианте $N_2P_2K_2$, а фосфора - незначительно ниже.

Коэффициенты использования удобрений сильно варьировали в зависимости от уровня удобренности. Они колебались в пределах: по азоту - 61-121%, фосфору 29-54%, калию – 85-215%. Следует отметить, что коэффициент использования из удобрений одного из элементов значительно возрастал с повышением доз других двух элементов в составе удобрения, а одностроннее увеличение его дозы, наоборот, снижало КИУ этого элемента.

Балансовые коэффициенты варьировали в пределах: азота – 124-279, фосфора – 56-127, калия – 154-411%. С повышением дозы отдельного элемента в составе удобрения снижался его балансовый коэффициент.

Рекомендуем использовать рассчитанные на основании экспериментальных данных в результате 20-летних исследований коэффициенты использования элементов питания из удобрений для определения доз удобрений на запланированный урожай балансовыми методами на черноземах выщелоченных Центральной части Северного Кавказа (табл. 15).

Таблица 15 - Коэффициенты использования питательных веществ из удобрений, балансовые коэффициенты и коэффициенты возмещения выноса с урожаем полевых культур на черноземе выщелоченном (для практического пользования)

Культура	КИУ, %			Балансовый коэффициент, %			Коэффициент возмещения выноса		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Люцерна	51	36	143	78	55	217	1,70	2,45	0,61
Клевер луговой	30	25	73	43	34	111	2,48	3,27	0,95
Озимая пшеница	100	49	122	162	79	189	0,64	1,17	0,57
Кукуруза на зерно	80	55	75	138	94	140	0,73	1,07	0,71
Кукуруза на силос	108	47	105	158	74	169	0,63	1,35	0,59
Суданская трава	93	35	126	152	58	204	0,66	1,70	0,49
В ср. по севообороту	87	45	104	140	72	167	1,03	1,66	0,65

При расчете доз удобрений на запланированный урожай имеют значение экспериментально полученные **коэффициенты использования питательных веществ из почвы (КИП)** (табл. 16).

Таблица 16 - Коэффициенты использования питательных веществ из почвы (чернозем выщелоченный) в севообороте (среднее за 4 ротации)

Культура	Содержание в почве, кг/га			Вынос с урожаем, кг/га			КИП, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Люцерна	144	300	480	66	17	57	46	6	12
Клевер луговой	139	278	473	35	9	26	25	3	6
Озимая пшеница	135	248	474	79	30	51	59	12	11
Кукуруза на зерно	121	229	421	82	36	75	68	16	18
Кукуруза на силос	131	240	445	64	10	56	49	4	13
Суданская трава	134	258	455	73	26	74	54	10	16
В ср. по севообороту	133	254	455	66	21	57	50	8	13

За годы исследований во всех 4-х ротациях севооборота складывался отрицательный **баланс гумуса** по всем вариантам, кроме варианта с органоминеральной системой (табл. 17). Причем, под многолетними травами всегда наблюдался положительный баланс, под озимой пшеницей - положительный баланс на удобренном контроле и наименьший дефицит на остальных вариантах. А наибольший дефицит гумуса во все годы наблюдался под кукурузой на зерно и на силос.

Таблица 17 - Баланс гумуса в севообороте на черноземе выщелоченном под влиянием длительного (20 лет) применения удобрений

Вариант	Накопление, т/га	Минерализация, т/га	Баланс (+/-), т/га	Интенсивность баланса, %
Контроль	0,79	0,85	-0,06	92
N ₁ P ₁ K ₁	0,96	1,25	-0,29	77
N ₂ P ₁ K ₁	1,07	1,51	-0,44	71
N ₁ P ₂ K ₁	1,08	1,49	-0,41	72
N ₂ P ₂ K ₁	1,21	1,81	-0,60	67
N ₂ P ₂ K ₂	1,27	1,88	-0,62	67
N ₃ P ₂ K ₁	1,23	1,91	-0,68	64
N ₃ P ₂ K ₂	1,27	1,99	-0,72	64
N ₂ P ₃ K ₁	1,26	1,83	-0,57	69
N ₂ P ₃ K ₂	1,27	1,85	-0,58	69
N ₃ P ₃ K ₁	1,29	2,00	-0,71	64
N ₃ P ₃ K ₃	1,37	2,18	-0,81	63
Навоз+NPK	2,81	1,97	0,84	143
Расчетный	1,41	2,23	-0,82	63

На неудобренном варианте во все годы складывался наименьший дефицит гумуса, близкий к нулю, в 8-й ротации он даже был нулевым, а возмещение выноса за 4 ротации составило 92%. На удобренных (минеральными удобрениями) вариантах ежегодная минерализация гумуса составляла 1,25-2,23 т/га, а новообразование – 0,96-1,41 т/га. Поэтому наблюдался дефицит гумуса, который ежегодно находился в пределах (-)0,29 - (-)0,82 т/га, или 23-47%.

Следует отметить, что процесс минерализации гумуса протекал интенсивнее с повышением доз удобрений. Так, за 20-летний период с внесением одиной, двойной, тройной и расчетной доз удобрений количество гумуса снизилось по сравнению с контролем соответственно на 0,23; 0,55; 0,74 и 0,76 т/га.

Из отдельных элементов в составе удобрения наиболее существенно на минерализацию гумуса влиял азот. Удвоение и, особенно, утроение дозы азота в составе NPK заметно увеличивало потери гумуса, и хотя накопление гумуса тоже коррелировало с дозой азота, все же минерализация гумуса превышала гумусообразование. Менее существенно влиял на эти процессы фосфор, еще меньше - калий, а совместное увеличение доз азота и фосфора стабильно увеличивало потери гумуса.

Выявлена очень сильная зависимость минерализации гумуса от дозы вносимого азота ($r=0,92$), весьма сильная - фосфора ($r=0,85$) и сильная - калия ($r=0,79$). Уравнение регрессии:

$$Y = 0,88 + 0,005N + 0,004P_2O_5 + 0,003K_2O; R^2=0,96.$$

Внесение навоза способствовало воспроизводству гумуса: во все годы органо-минеральная система обеспечивала положительный баланс. Среднегодовой за 4 ротации севооборота профицит гумуса составил 0,84 т/га (143%), несмотря на то, что минерализация гумуса на этом варианте существенно превышала аналогичный процесс на варианте с минеральной системой.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В СЕВОБОРОТЕ

Затраты на применение удобрений напрямую зависели в основном от доз вносимых удобрений, особенно фосфорных - наиболее дорогостоящих, а также от величины полученной прибавки, требующей дополнительные затраты на ее уборку, послеуборочную доработку, транспортировку и т.д. От эффективности соотношения выручки и затрат зависит величина чистого дохода от применения удобрений. Расчетная доза удобрений обеспечила наибольший условно чистый доход на кукурузе на зерно, кукурузе на силос и суданской траве - 33,0; 27,8 и 24,2 тыс. руб./га и 1,39; 1,19 и 1,26 руб./руб. затрат соответственно. На многолетних травах эффективнее оказался вариант с тройной дозой NPK - 26,7 тыс. руб./га. На озимой пшенице наилучшие показатели экономической эффективности отмечены при внесении двойной дозы удобрений. Условно-чистый доход по органо-минеральной и минеральной системам составил 23,3 и 22,0 тыс. руб./га и 1,29 и 1,23 руб./руб. затрат соответственно во 2-м и 5-м полях севооборота.

В среднем по севообороту наибольший условно чистый доход обеспечен при внесении расчетной дозы удобрений – 23,2 тыс. руб./га., хотя он несколько уступал по рентабельности вариантам с двойной дозой NPK (по минеральной и органо-минеральной системам) – 107% - против 111 и 126%. Данный эффект обусловлен высокой прибавкой урожая на этих вариантах, стоимость которой с максимальной выгодой покрывала затраты на применение удобрений.

В целом по севообороту каждый кг д.в. вносимых удобрений обеспечил 13,5-17,5 кг з.е. дополнительной продукции. Наибольшей окупаемостью удобрений в севообороте характеризовался вариант навоз+NPK. Это достаточно высокие показатели. По нормам FAO оптимальной окупаемостью считается 10 кг зерна на 1 кг NPK, а по данным многочисленных полевых опытов Географической сети опытов ВИУА оплата 1 кг д. в. минеральных удобрений прибавками урожая основной продукции озимой пшеницы составляет 3,5-6,5 кг.

Энергетическая эффективность применения удобрений в полевом севообороте представлена в табл. 18.

Таблица 18 - Энергетическая эффективность удобрений в полевом севообороте по разным системам (ср. за 4 ротации)

Вариант	Энерг. затраты на прим. удобр., ГДж/га	Энерг. ценность прибавки, ГДж/га	Чистый энергетический доход, ГДж/га	Коэфф. энерг. эффективности, ед.	Энергетический КПД посева, ед.	Энерг. себестоимость удобр. ГДж/т з.е.
N ₁ P ₁ K ₁	4,4	15,9	11,5	2,63	3,63	2,82
N ₂ P ₁ K ₁	7,9	23,1	15,1	1,90	2,90	3,31
N ₁ P ₂ K ₁	4,8	23,7	18,9	3,91	4,91	1,98
N ₂ P ₂ K ₁	8,4	32,8	24,3	2,90	3,90	2,54
N ₂ P ₂ K ₂	8,7	37,0	28,2	3,25	4,25	2,37
N ₃ P ₂ K ₁	12,0	35,2	23,1	1,93	2,93	3,41
N ₃ P ₂ K ₂	12,3	38,1	25,8	2,09	3,09	3,23
N ₂ P ₃ K ₁	8,9	36,9	28,1	3,16	4,16	2,43
N ₂ P ₃ K ₂	9,2	38,4	29,2	3,19	4,19	2,47
N ₃ P ₃ K ₁	12,5	39,1	26,6	2,14	3,14	3,17
N ₃ P ₃ K ₃	13,1	46,4	33,3	2,55	3,55	2,87
Навоз+NPK	8,7	39,6	30,8	3,54	4,54	2,19
Расчетный	12,8	50,5	37,7	2,94	3,94	2,72

Примечание: в среднем за 4 ротации вариант N₁P₁K₁ соответствовал дозе N₄₁P₃₇K₃₆, а расчетный – N₁₂₃P₉₃K₉₇

Энергетические затраты напрямую зависят от доз вносимых удобрений, в первую очередь – азотных, наиболее энергоемких. Наиболее энергоемким

оказалось применение удобрений под озимую пшеницу 5,1-15,3 ГДж/га, немногим меньше – под кукурузу обоих направлений использования и суданскую траву, существенно меньше – под многолетние травы – 2,9-8,8 ГДж/га.

Величина энергетической ценности прибавки урожая определялась биологическими особенностями культуры и размером прибавки урожая. Большой энергоотдачей выделялась кукуруза на силос (27,6-124,2 ГДж/га), меньшей – озимая пшеница (18,3-49,9 ГДж/га).

По озимой пшенице энергоотдача от удобрений повышалась от одинарной дозы NPK до двойной, при дальнейшем повышении доз NPK она заметно снижалась. Этот показатель был наибольшим в варианте навоз+NPK – 49,9 ГДж/га. В противоположном направлении изменялась энергетическая себестоимость зерна озимой пшеницы.

По остальным культурам энергоотдача от применения удобрений повышалась прямо пропорционально возрастанию уровня минерального питания и была наибольшей по расчетной дозе удобрений.

Наименьшая энергетическая эффективность у всех культур отмечена на вариантах с высокими дозами азотных удобрений, что связано с более высокими энергозатратами на их производство по сравнению с фосфорными и калийными. Возникает определенное противоречие между энергоемкостью удобрений и их реализационными ценами. Как указывалось выше, наибольшей дороговизной отличаются фосфорные удобрения.

В целом по севообороту наибольший чистый энергетический доход получен при внесении расчетной дозы удобрений (37,7 ГДж/га), а наибольшие коэффициент энергетической эффективности удобрений (3,91), энергетический КПД посева (4,91) и наименьшая энергетическая себестоимость (1,98 ГДж/т з.е.) получены в варианте $N_1P_2K_1$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Длительные исследования в лесостепной зоне Центральной части Северного Кавказа по влиянию систематического применения различных систем удобрения на продуктивность полевого севооборота и плодородие чернозема выщелоченного, подстилаемого галечником, выявили следующее.

Природно-климатические и почвенные условия лесостепной зоны можно считать благоприятными для возделывания полевых культур и эффективности удобрений. Продолжительность безморозного периода и суммы активных температур за все годы наблюдений превышали среднемноголетние значения. Годы наблюдений в основном были умеренно увлажненными и умеренно засушливыми. Коэффициент увлажнения (0,9–1,0) свидетельствует об эквивалентности увлажнения почвы и испарения из нее влаги. Несмотря на то, что в отдельные месяцы количество осадков превышало норму (в 1,1-3,3 раза), растения временами испытывали недостаток влаги, так как осадки выпадали в основном в виде ливней и в связи с промывным водным режимом почв терялись в короткие сроки, легко проникая в глубокие слои почвы.

При длительном сельскохозяйственном использовании без применения удобрений плодородие чернозема выщелоченного проявляло явную тенденцию к снижению. Потери гумуса из слоя 0-40 см сравнительно невелики при внесении в почву средних доз минеральных удобрений, значительные - при внесении повышенных доз. По тройной дозе NPK в слое 0-30 см количество гумуса за 43 года уменьшилось почти на 0,5%, а в слое 30-40 см - на 1,06%. На расчетном варианте в слое 0-30 см содержание гумуса за первые 16 лет (из 43-х) снизилось на 0,22%, затем стабилизировалось на уровне 5,30%, что на 0,26% меньше исходного уровня. Периодическое унавоживание почвы (30 т/га 1 раз в 5 лет) способствовало обогащению пахотного и подпахотного слоев гумусом. По органо-минеральной системе удобрения в первые 5 лет содержание гумуса несколько снижалось по сравнению с контролем, а в дальнейшем стало повышаться и к концу наблюдений превзошло контроль в слоях 0-30 и 30-40 см на 0,43 и 0,22% соответственно.

Длительное систематическое применение удобрений в севообороте значительно повлияло на физико-химические свойства чернозема выщелоченного. В слое 0-40 см в течение 45 лет даже без применения удобрений показатель $pH(H_2O)$ снизился на 0,2 ед., а при применении одних минеральных - на 0,3-0,5 ед. Обменная и гидролитическая кислотность в течение первых 16 лет (из 45-ти) также повышались, но в дальнейшем, в отличие от актуальной, остались на прежнем уровне. За 45 лет наблюдений показатель $pH(KCl)$ снизился на 1,1 ед. на контроле и на 1,2-1,3 ед. - на вариантах с минеральными удобрениями, а гидролитическая кислотность повысилась на этих вариантах соответственно на 0,3 и 1,2-1,5 мг-экв./100 г почвы. Внесение навоза несколько смягчило подкисление почвы: в варианте навоз+NPK за 45 лет показатель $pH(KCl)$ снизился на 0,8 ед., и отличался от контроля всего на 0,1 ед., а гидролитическая кислотность уменьшилась на 0,1 мг-экв./100 г почвы по сравнению с исходным уровнем, и была ниже, чем на контроле на 0,4 мг-экв./100 г.

За 45 лет в черноземе выщелоченном на фоне естественного плодородия сумма поглощенных оснований и емкость поглощения повысились соответственно на 3,1 и 2,8 мг-экв./100 г почвы. Удобренные варианты имели слабую тенденцию к повышению по сумме поглощенных катионов и отчетливо отличались в сторону превышения по емкости поглощения. Степень насыщенности почвы основаниями в первые 16 лет (из 45-ти) снизилась из-за повышения гидролитической кислотности, но в дальнейшем возросла по сравнению с исходным уровнем. Органо-минеральная система удобрения увеличила ее за 45 лет на 2,3%, что выше, чем на контроле на 1,6%, а варианте с минеральной системой - на 4,0%.

Удобрения отчетливо улучшали эффективное плодородие чернозема выщелоченного, обогащая его подвижными формами питательных элементов, несмотря на значительный вынос азота, фосфора и калия с урожаем культур. В среднем за 4 ротации севооборота удобрения обеспечивали превышение в 0-40 см слое почвы содержания поглощенного аммония, нитратов, подвижного фосфора и обменного калия соответственно на 5,2-10,2; 5,5-11,4; 8,8-31,8 и 9,3-19,0 мг/кг почвы, или 16-32, 66-137, 11-40 и 17-13%. Наибольший

эффект от удобрений получен в вариантах с высокими (тройной и расчетной) дозами удобрений. Вместе с тем за 20-летний период (1994-2016 гг.) на не-удобренном контроле содержание поглощенного аммония, подвижного фосфора и обменного калия снизилось соответственно на 3,3; 7,3 и 11,4 мг/кг почвы (9,7; 8,7 и 7,6%), а на удобренных вариантах – на 0,3-2,3; 2,4-14,4 и 1,3-5,2 мг/кг (0,8-5,4; 2,7-11,9 и 0,9-3,3%), а содержание нитратов, наоборот, несколько увеличилось: на неударенном контроле - на 3,0 мг/кг почвы (37,3%), а на удобренных вариантах – на 3,1-4,4 мг/кг (24-31%).

За 40 лет наблюдений (1971-2012 гг.) без применения удобрений в пахотном слое прослеживалась тенденция уменьшения содержания минерального азота ($N-NH_4 + N-NO_3$) к середине периода наблюдений и дальнейшая его стабилизация на уровне 3,3 мг/100 г почвы. При систематическом применении удобрений указанный показатель заметно превосходил контроль во все периоды наблюдения, особенно в последние 10 лет - преимущество составило 1,1 мг/100 г почвы. Содержание подвижного фосфора на варианте без удобрений к середине периода наблюдений снижалось незначительно, но в дальнейшем более резко, почти в 2 раза. На удобренных вариантах эта динамика проявлялась в меньшей степени благодаря вносимому фосфорному удобрению. Содержание обменного калия со временем убывало и за 40 лет снизилось на контроле на 6,3 мг/100 г почвы. Удобренные варианты превосходили контроль на 2,8-3,1 мг/100 г почвы при идентичной с контролем динамике обменного калия. По показателям обеспеченности почвы подвижными формами питательных веществ органо-минеральная система удобрения не имела преимуществ перед минеральной.

Удобрения обеспечивали интенсивное формирование вегетативной массы культур севооборота. Наибольшую высоту и площадь листьев растений всех культур обеспечили тройная и расчетная дозы удобрений. Установлена прямая линейная зависимость фотосинтетической деятельности растений от обеспеченности почвы подвижными формами питательных элементов. Общая закономерность процесса накопления сухого вещества и потребления азота, фосфора и калия культурами севооборота состояла в постепенном снижении их концентраций в растениях и увеличении абсолютного содержания по мере роста и развития растений. Наибольшее накопление сухого вещества отмечено в расчетном варианте. В периоды интенсивного роста и развития растений концентрация азота, фосфора и калия в них снижалась сильнее. На удобренных вариантах эти закономерности проявлялись в той же мере, но относительное и абсолютное содержание питательных элементов в растениях было существенно выше, причем повышалось оно по мере увеличения доз удобрений. Результаты исследований позволили обосновать оптимальные концентрации NPK в надземной части культур севооборота: люцерны в фазы всходов и начала ветвления: N – 4,4 и 3,0; P_2O_5 – 0,9 и 0,9; K_2O – 3,5 и 3,2%; клевера лугового в фазы всходов и начала ветвления: N – 4,0 и 2,5; P_2O_5 – 0,8 и 0,8; K_2O – 3,1 и 1,8%; озимой пшеницы в фазы весеннего кущения и трубкования N – 5,0-5,4 и 3,1-3,4; P_2O_5 – 0,9-1,0 и 0,7-0,8; K_2O – 3,4-3,4 и 3,0-3,4%; кукурузы в фазы всходов и 5-6 листьев N – 4,8-4,9 и 3,5-3,9;

P_2O_5 – 1,2-1,3 и 1,0-1,1; K_2O – 3,8-4,2 и 3,4-4,0%; суданской травы в фазы всходов и трубокования N – 5,0 и 4,1; P_2O_5 – 0,9 и 0,8; K_2O – 6,0 и 4,2%.

Длительное систематическое применение удобрений оказывало положительное влияние на урожайность культур севооборота. Урожайность культур и эффективность удобрений зависели от гидротермических условий года и обеспеченности почвы подвижными формами питательных элементов. Установлена сильная корреляционная линейная зависимость урожайности культур от доз вносимых удобрений. В среднем за 4 ротации наибольшие прибавки урожая культур обеспечили удобрения в дозах: $N_{70}P_{145}K_{100}$ (расчетная) – 19,0 т/га (154%) зеленой массы многолетних трав; $N_{100}P_{80}K_{80}$ (двойная) – 3,01 т/га (107%) зерна и 5,22 т/га (115%) соломы озимой пшеницы (после многолетних трав); $N_{100}P_{65}K_{65}$ (двойная) – 3,06 т/га (113%) зерна и 5,13 т/га (119%) соломы озимой пшеницы (после кукурузы на силос); $N_{90}P_{70}K_{145}$ (расчетная) – 4,57 т/га (121%) зерна и 6,37 т/га (100%) соломы кукурузы на зерно и 25,6 т/га (125%) листостебельной массы кукурузы на силос; $N_{145}P_{60}K_{100}$ (расчетная) – 29,0 т/га (120%) зеленой массы суданской травы. Преимущество совместного внесения навоза с минеральными удобрениями в севообороте перед внесением одних минеральных удобрений проявилось только по суданской траве – урожайность зеленой массы увеличилась на 8,5 т/га (22%). Можно выделить значение фосфора в получении прибавки урожая люцерны, клевера лугового и суданской травы, азота – кукурузы на силос и соломы озимой пшеницы и кукурузы, но гораздо эффективнее оказалось совместное увеличение доз азота и фосфора по всем культурам.

Урожайность зерновых культур находилась в прямой зависимости от показателей элементов структуры урожая, на которые, в свою очередь, положительно повлияли вносимые удобрения, особенно в расчетных дозах. Более существенное влияние на размеры и озерненность колосьев озимой пшеницы оказало увеличение в составе удобрения дозы фосфора, а из парных сочетаний – азота и фосфора. Выявлена роль фосфора и калия в формировании продуктивности кукурузы как в отдельности, так и парном сочетании. Существенное преимущество имела органо-минеральная система удобрения по ряду показателей структуры урожая кукурузы (продуктивность посева, размеры и масса початков).

Результаты 20-летних исследований свидетельствуют о положительном влиянии длительного применения удобрений на показатели среднегодовой продуктивности полевого севооборота. При минимальной среднегодовой продуктивности севооборота за 20-летний период (4 ротации) на фоне естественного плодородия – 4,27 т/га з.е., по всем вариантам системы удобрения она возросла на 2,40-4,71 т/га з.е. (36–110%), причем прирост продуктивности увеличивался по мере повышения доз удобрений, хотя на отрезке от двойной дозы до тройной эффект выражен слабо. Наибольшую продуктивность севооборота обеспечила расчетная доза удобрений – 8,98 т/га з.е., что превышало аналогичный показатель варианта без удобрений более чем в 2 раза. Доля участия удобрений в формировании продуктивности росла по ме-

ре увеличения их доз с 26,6 до 52,4% и имела максимальное значение в расчетном варианте.

По влиянию повышения доз отдельных элементов в составе НРК можно выделить варианты совместного внесения азота и фосфора, а увеличение доз элементов питания в отдельности на продуктивность особого влияния не оказывало, хотя коэффициенты корреляции между продуктивностью севооборота и дозами удобрений характеризовали линейную зависимость как очень сильную - от внесения фосфора ($r=0,91$), весьма сильную - калия ($r=0,87$) и азота ($r=0,86$).

Органо-минеральная система удобрения имела незначительное преимущество по сравнению с минеральной, однако с учетом положительного влияния навоза на водно-воздушные и физико-химические свойства почвы она заслуживает предпочтения. Поэтому мы рекомендуем применять удобрения в расчетных дозах, но по органо-минеральной системе - 6 т/га/год навоза + НРК эквивалентно $N_{123}P_{106}K_{95}$. Поскольку на озимой пшенице мы наблюдали стабильный эффект от средних доз удобрений, считаем целесообразным под эту культуру вносить средние дозы удобрений - $N_{84}P_{74}K_{72}$ (уровня $N_2P_2K_2$). Такой дифференцированный подход, как показали расчеты, не снизит продуктивность севооборота, однако значительно уменьшит экономические затраты на применение удобрений.

Удобрения оказали положительное влияние на химический состав и качество культур полевого севооборота. На удобренных вариантах содержание N, P_2O_5 и K_2O в продукции всех культур было выше, чем на контроле. Однако это повышение проявлялось в разной степени по элементам: в большей степени возрастало содержание азота, в меньшей – фосфора и калия. В целом можно отметить следующую закономерность: преобладание каждого элемента в составе НРК приводило к увеличению его концентрации в растительной продукции, в частности, повышенные дозы N в составе НРК увеличили содержание азота, а, следовательно, и протеина в урожае всех культур. Соответственно повышалось содержание фосфора и калия, но в меньшей степени.

Длительное применение удобрений улучшало биохимический состав продукции. При этом по всем культурам наиболее существенно повышалось содержание протеина, в основном при внесении расчетных доз удобрений: в сене люцерны и клевера - на 2,5 и 3,3%, зерне озимой пшеницы и кукурузы - на 1,9 и 1,9%, сухой массе кукурузы на силос и суданской травы - на 2,5 и 1,6%. Варианты с тройной дозой азота и расчетный отличались максимальными значениями стекловидности зерна озимой пшеницы (59-61%) и содержания в нем сырой клейковины (29,2-30,0%) при содержании на контроле 49 и 25,6%. Максимальная упругость клейковины (I группа качества) отмечена на вариантах с внесением умеренных и сбалансированных доз удобрений.

Содержание жира под действием удобрений имело тенденцию к повышению в зеленой массе трав и силосной кукурузы, а в зерне озимой пшеницы и кукурузы наблюдалась в целом противоположная тенденция – к уменьшению. Клетчатки больше накапливалось в зеленой массе трав и кукурузы на силос. Однозначной закономерности при этом не отмечено: одни удобренные вариан-

ты уступали контролю, другие превосходили. Наибольший уровень накопления золы наблюдается в зеленой массе кукурузы и травах. Количество золы по вариантам изменялось незначительно, при этом у трав можно отметить тенденцию повышения зольности по мере увеличения уровня минерального питания по сравнению с неудобренным контролем.

Удобрения оказывали определенное влияние на вынос питательных элементов растениями. Все изучаемые культуры выносят с урожаем меньше фосфора. Вынос азота преобладает над выносом калия, причем наиболее существенно - у озимой пшеницы, менее - у кукурузы на зерно и трав, равноценно - у кукурузы на силос. С повышением доз удобрений последовательно повышается общий вынос питательных элементов с урожаем и в большинстве случаев на единицу продукции. Большая часть азота и подавляющая часть фосфора сосредоточены в зерне, а большая часть калия - в соломе. В растениях озимой пшеницы соотношение питательных веществ зерно : солома имело вид: по азоту - 2,9-4,2 : 1, по фосфору - 2,2-3,3 : 1, по калию - 0,4-0,5 : 1; в растениях кукурузы на зерно соответственно: 1,3-2,0 : 1; 1,5-2,2 : 1 и 0,2-0,3 : 1.

По изучаемым системам удобрения складывался отрицательный баланс по азоту (дефицит - 21-65%), положительный - по фосфору (14-78% кроме двух вариантов с одинарной дозой фосфора, где баланс был отрицательным) и более отрицательный - по калию (дефицит - 35-75%), что вынуждает прогнозировать ухудшение азотного и особенно калийного режима почвы. Одностороннее увеличение дозы одного элемента повышало положительный баланс его в почве. Отрицательное влияние на баланс одного элемента оказывало увеличение доз другого элемента в составе NPK. Недостаток элемента в составе удобрения способствует большему использованию его растениями из почвы. Коэффициент использования удобрений (КИУ) одного из элементов значительно возрастал с повышением доз других двух элементов в составе NPK, а одностороннее увеличение его дозы, наоборот, снижало КИУ этого элемента.

На неудобренном варианте во все годы складывался наименьший дефицит гумуса, близкий к нулю, в 8-й ротации он даже был нулевым, а возмещение выноса за 4 ротации составило 92%. На удобренных (минеральными удобрениями) вариантах ежегодная минерализация гумуса составляла 1,25-2,23 т/га, а новообразование - 0,96-1,41 т/га. Поэтому наблюдался дефицит гумуса, который ежегодно находился в пределах (-)0,29 - (-)0,82 т/га, или 23-47%. Процесс минерализации гумуса протекал интенсивнее с повышением доз удобрений. За 20-летний период с внесением разных доз удобрений количество гумуса снизилось по сравнению с контролем соответственно на 0,23-0,76 т/га. Из отдельных элементов в составе удобрения наиболее существенно на минерализацию гумуса влиял азот, а совместное увеличение доз азота и фосфора стабильно увеличивало потери гумуса. Внесение навоза способствовало воспроизводству гумуса: во все годы органо-минеральная система обеспечивала положительный баланс. Среднегодовой за 4 ротации севооборота профицит гумуса составил 0,84 т/га, или 143% несмотря на то, что минерализация гумуса на этом варианте существенно превышала аналогичный процесс на эквивалентном варианте с минеральной системой.

Применение удобрений в севообороте на черноземе выщелоченном, подстилаемом галечником, Центральной части Северного Кавказа, несмотря на дополнительные затраты на этот агроприем, эффективны и с экономической точки зрения. По всем системам удобрения наблюдается получение дополнительного чистого дохода, который обусловлен высокой прибавкой урожая, стоимость которой с максимальной выгодой покрывала затраты на применение удобрений. Расчетная доза удобрений обеспечила наибольший условно чистый доход на кукурузе на зерно, кукурузе на силос и суданской траве - 33,0; 27,8 и 24,2 тыс. руб./га и 1,39; 1,19 и 1,26 руб./руб. затрат соответственно. На многолетних травах эффективнее оказался вариант с тройной дозой NPK (УЧД = 26,7 тыс. руб./га) за счет меньшей по сравнению с расчетной дозы дорогих фосфорных удобрений. На озимой пшенице наибольший условно-чистый доход получен при внесении двойной дозы удобрений: по органо-минеральной и минеральной системам он составил 23,3 и 22,0 тыс. руб./га и 1,29 и 1,23 руб./руб. затрат соответственно. В среднем по севообороту наибольший условно чистый доход обеспечен при внесении расчетной дозы удобрений - 23,2 тыс. руб./га., но уступал по рентабельности вариантам с двойной дозой NPK (по минеральной и органо-минеральной системам) - 107% - против 111 и 126%.

Удобрения высоко окупаются прибавкой урожая, увеличивают ее энергоотдачу и соответственно энергетический КПД. В целом по севообороту каждый кг д.в. вносимых удобрений обеспечил 13,5-17,5 кг з.е. дополнительной продукции при преимуществе варианта навоз+NPK. Наибольший чистый энергетический доход получен при внесении расчетной дозы удобрений (37,7 ГДж/га), а наибольшие коэффициент энергетической эффективности удобрений (3,91), энергетический КПД посева (4,91) и наименьшая энергетическая себестоимость (1,98 ГДж/т з.е.) получены в варианте $N_1P_2K_1$.

Предложения производству

Для получения среднегодовой продуктивности полевых севооборотов порядка 8-9 т з.е./га на черноземах выщелоченных лесостепной зоны Северного Кавказа, подстилаемых галечником, рекомендуем следующее.

1. Применять удобрения со среднегодовой дозой $N_{125}P_{100}K_{100}$ в виде сочетания минеральных удобрений с навозом (6 т/га/год). Оптимальные дозы под отдельные культуры севооборота составляют: $N_{70}P_{145}K_{100}$ под многолетние травы, $N_{100}P_{80}K_{80}$ - озимую пшеницу, $N_{145}P_{95}K_{115}$ - кукурузу на зерно и на силос, $N_{145}P_{100}K_{90}$ - суданскую траву. Удобрения следует вносить дробно: основное: $N_{70}P_{135}K_{100}$ под многолетние травы, $N_{40}P_{70}K_{80}$ - озимую пшеницу, $N_{85}P_{85}K_{115}$ - кукурузу на зерно и на силос, $N_{85}P_{90}K_{90}$ - суданскую траву. Причем, под озимую пшеницу основное внесение производить осенью под вспашку, а под остальные культуры - осенью под зябь (фосфорно-калийные и органические) и весной под предпосевную культивацию (азотные). При посеве всех культур эффективно применение суперфосфата простого гранулированного в дозе P_{10} для каждой культуры. Эффективно применение подкормок: на многолетних травах - N_{30} после укоса; озимой пшенице - N_{30} (корневая) в начале весенней

вегетации и N₃₀ (некорневая 15%-м раствором мочевины) в фазу колошения-цветения; кукурузе – по N₃₀ в фазы всходов и 5-6 листьев; суданской траве – по N₃₀ после укосов.

2. Для растительной диагностики питания и установления необходимости подкормок минеральными удобрениями рекомендуем использовать оптимальные концентрации NPK в надземной части культур севооборота, приведенные выше.

3. Для прогнозирования продуктивности севооборотов по внесенным дозам NPK, а также определения суммарной дозы NPK для получения запланированной продуктивности севооборота рекомендуем использовать данные таблицы 61.

4. Для расчета доз удобрений на запланированный урожай рекомендуем использовать экспериментально полученные данные о выносе питательных веществ с урожаем (табл. 75), Коэффициенты использования питательных веществ из удобрений, балансовые коэффициенты и коэффициенты возмещения выноса с урожаем полевых культур (табл. 79), Коэффициенты использования питательных веществ из почвы (табл. 80).

5. Для стабилизации гумусного состояния почвы, поддержания бездефицитного баланса гумуса рекомендуем внесение - 5-14 т/га ежегодно навоза. Помимо навоза необходимо широко использовать посевы сидеральных промежуточных культур, солому, листостебельную массу, компосты и т.д.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

В рецензируемых изданиях по перечню ВАК:

1. Ханикаев, Б. Р. Питательный режим и баланс NPK в черноземе выщелоченном под озимой пшеницей при длительном применении удобрений в севообороте / Б. Р. Ханикаев, **Т. К. Лазаров**, С. Х. Дзанагов // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 57. – № 3. – С. 25-34.

2. Ханикаев, Б. Р. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от системы удобрения / Б. Р. Ханикаев, С. Х. Дзанагов, **Т. К. Лазаров** // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 57. – № 4. – С. 8-14.

3. Ханикаев, Б. Р. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в результате длительного систематического применения удобрений в полевом севообороте на черноземе выщелоченном / Б. Р. Ханикаев, **Т. К. Лазаров**, С. Х. Дзанагов // Известия Горского государственного аграрного университета. - 2020. - Т. 57. - № 4. - С. 9-15.

4. Дзанагов, С. Х. Влияние длительного применения удобрений на показатели роста, урожайность и качество зерна озимой пшеницы / С. Х. Дзанагов, Т. К. Лазаров, Б. С. Калюев [и др.] // Агрохимия. – 2019. – № 4. – С. 31-38.

5. Дзанагов, С. Х. Плодородие почв Северной Осетии-Алании / С. Х. Дзанагов, В. В. Бестаев, **Т. К. Лазаров**, Р. А. Цуциев // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 56. – № 2. – С. 47-54.

6. Дзанагов, С. Х. Энергетическая эффективность применения удобрений в звене севооборота озимая пшеница - люцерна / С. Х. Дзанагов, **Т. К. Лазаров**, Р. А. Цуциев [и др.] // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 56. – № 4. – С. 44-49.

7. Дзанагов, С. Х. Экономическая эффективность применения удобрений под озимую пшеницу и люцерну / С. Х. Дзанагов, **Т. К. Лазаров**, Б. Р. Ханикаев [и др.] // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 56. – № 4. – С. 36-43.

8. Цуциев, Р. А. Рост и развитие растений люцерны в зависимости от удобрений / Р. А. Цуциев, С. Х. Дзанагов, **Т. К. Лазаров** [и др.] // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 55. – № 3. – С. 27-36.
9. Дзанагов, С. Х. Эффективное плодородие чернозема выщелоченного в зависимости от применения удобрений / С. Х. Дзанагов, А. Е. Басиев, [...], **Т. К. Лазаров** [и др.] // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2016. – Т. 53. – № 2. – С. 13-18.
10. Гагиев, Б. В. Продуктивность полевого плодосменного севооборота в зависимости от удобрений на выщелоченных черноземах / Б. В. Гагиев, З. Т. Кануков, **Т. К. Лазаров** [и др.]. // Известия Горского государственного аграрного университета. - 2017. - Т. 54. - № 4. - С. 25-31.
11. Дзанагов, С. Х. Реакция кукурузы на повышение уровня минерального питания / С. Х. Дзанагов, Б. Р. Ханикаев, [...], **Т. К. Лазаров** [и др.] // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2016. – Т. 53. – № 3. – С. 8-13.
12. Дзанагов, С. Х. Действие удобрений на эффективное плодородие чернозема выщелоченного, урожайность, качество урожая сельскохозяйственных культур и продуктивность звена полевого севооборота / С. Х. Дзанагов, **Т. К. Лазаров**, А. Е. Басиев [и др.] // Известия Горского государственного аграрного университета. - 2016. - Т. 53. - № 2. - С. 18-27.
13. Гагиев, Б. В. Влияние удобрений на продуктивность звена полевого севооборота и показатели качества полевых культур в лесостепной зоне РСО-Алания / Б. В. Гагиев, З. Т. Кануков, **Т. К. Лазаров**, С. Х. Дзанагов // Известия Горского государственного аграрного университета. - 2015. - Т. 52. - № 4. - С. 20-25.
14. Дзанагов, С. Х. Динамика содержания гумуса в черноземе выщелоченном под действием удобрений / С. Х. Дзанагов, А. Е. Басиев, З. Т. Кануков, **Т. К. Лазаров** // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2015. – Т. 52. – № 2. – С. 19-24.
15. Дзанагов, С. Х. Экономическая и энергетическая эффективность применения удобрений под озимую пшеницу на черноземе выщелоченном РСО-Алания / С. Х. Дзанагов, **Т. К. Лазаров**, Б. В. Гагиев [и др.] // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2015. – Т. 52. – № 1. – С. 10-14.
16. Кануков, З. Т. Влияние различных систем удобрения на урожайность и качество зерна кукурузы в условиях лесостепной зоны РСО-Алания / З. Т. Кануков, А. Е. Басиев, **Т. К. Лазаров**, С. Х. Дзанагов // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2015. – Т. 52. – № 2. – С. 39-44.
17. Гагиев, Б. В. Влияние удобрений на урожайность культур полевого севооборота и питательный режим выщелоченного чернозема лесостепной зоны РСО-Алания / Б. В. Гагиев, З. Т. Кануков, **Т. К. Лазаров**, С. Х. Дзанагов // Известия Горского государственного аграрного университета. - 2014. - Т. 51. № 3. - С. 43-48.
18. Кануков, З. Т. Влияние различных систем удобрения на рост, урожайность клевера, озимой пшеницы и питательный режим выщелоченного чернозема лесостепной зоны РСО-Алания / З. Т. Кануков, А. Е. Басиев, **Т. К. Лазаров**, С. Х. Дзанагов // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2014. – Т. 51. – № 4. – С. 54-59.
19. Дзанагов, С. Х. Рекомендации по применению удобрений под кукурузу в фермерском хозяйстве В. Гокоева / С. Х. Дзанагов, А. Е. Басиев, [...], **Т. К. Лазаров** [и др.] // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 50. – № 1. – С. 75-79.
20. Дзанагов, С. Х. Эффективность удобрений под кукурузу при их длительном применении в севообороте на черноземе выщелоченном / С. Х. Дзанагов, **Т. К. Лазаров**, Б. Р. Ханикаев, Т. С. Дзанагов // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 57. – № 1. – С. 7-12.
21. Кануков, З. Т. Влияние длительного применения удобрений на урожайность и качество озимой пшеницы и клевера лугового на черноземе выщелоченном РСО-

Алания / З. Т. Кануков, А. Ю. Хадиков, [...], **Т. К. Лазаров** [и др.] // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 49. – № 3. – С. 10-14.

22. **Лазаров, Т. К.** Влияние различных систем удобрения на рост, урожайность клевера, озимой пшеницы и питательный режим выщелоченного чернозема лесостепной зоны РСО-Алания / З. Т. Кануков, А. Е. Басиев, **Т. К. Лазаров**, С. Х. Дзанагов // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 49. – № 4. – С. 65.

23. Хадиков, А. Ю. Влияние различных доз удобрений на агрохимические показатели, питательный режим выщелоченного чернозема и урожайность сои в условиях лесостепной зоны РСО-Алания / А. Ю. Хадиков, З. Т. Кануков, А. Е. Басиев, **Т. К. Лазаров**, С. Х. Дзанагов // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 43. – №3. – С. 31-37.

24. Кануков, З. Т. Влияние удобрений на ростовые процессы и потребление питательных элементов растениями звена полевого севооборота на выщелоченном черноземе РСО-Алания / З. Т. Кануков, С. Х. Дзанагов, А. Е. Басиев, **Т. К. Лазаров** // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2010. – Т. 47. – № 1. – С. 3-7.

25. Кануков, З. Т. Влияние удобрений на питательный режим выщелоченного чернозема и урожайность кукурузы на силос в условиях РСО-Алания / З. Т. Кануков, А. Ю. Хадиков, А. Е. Басиев, **Т. К. Лазаров** // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2009. – Т. 46. – № 1. – С. 15-17.

26. Кануков, З. Т. Урожай и качество продукции культур севооборота при удобрении выщелоченного чернозема / З. Т. Кануков, С. Х. Дзанагов, [...], **Т. К. Лазаров** [и др.] // Плодородие. – 2009. – № 4(49). – С. 41-42.

27. Кануков, З. Т. Плодородие чернозема и урожайность озимой пшеницы при применении удобрений / З. Т. Кануков, **Т. К. Лазаров**, С. Х. Дзанагов // Плодородие. – 2008. – № 6 (45). – С. 4-6.

28. Дзанагов, С. Х. Содержание и баланс гумуса в полевом севообороте в зависимости от удобрений на выщелоченных черноземах РСО-Алания / С. Х. Дзанагов, **Т. К. Лазаров**, А. Е. Басиев // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2003. – № 117. – С. 31.

В международных базах Web of Science и Scopus:

29. Dzanagov, S. K. Fertilizers effect on yield and apples' fruits quality on leached chernozem / S. K. Dzanagov, A. V. Gazdanov, T. K. Lazarov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, Western Siberia, 04–05 июля 2020 года. – Omsk City, Western Siberia, 2021. – P. 012201.

30. Dzanagov, S. K. Influence of sustained fertilization on the amount of humus and effective fertility of leached chernozem / S. K. Dzanagov, T. K. Lazarov, A. E. Basiev [et al.] // American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture. – 2014. – Vol. 8. – No 9. – P. 35-40.

Патенты:

31. Патент № 2358061 С1 Российская Федерация, МПК E02D 1/04, G01N 1/02. Устройство для отбора проб грунта : № 2007140099/03 : заявл. 29.10.2007 : опубл. 10.06.2009 / С. М. Мирзоев, М. М. Мирзоев, [...], **Т. К. Лазаров** [и др.]; заявитель Горский государственный аграрный университет.

32. Патент № 2218748 С2 Российская Федерация, МПК A01G 7/00. Способ оценки сортов озимой пшеницы на отзывчивость к удобрениям : № 2001116615/12 : заявл. 20.06.2001 : опубл. 20.12.2003 / С. Х. Дзанагов, С. А. Бекузарова, **Т. К. Лазаров** [и др.]; заявитель Горский государственный аграрный университет.

В других изданиях:

33. Гагиев, Б. В. Влияние удобрений на урожайность и качество кукурузы на силос на выщелоченных черноземах / Б. В. Гагиев, З. Т. Кануков, **Т. К. Лазаров** / Перспективы развития АПК в современных условиях : мат. 10-й междунар. науч.-практ. конф. – Владикавказ, 2021. – С. 61-64.

34. Цуциев, Р. А. Отзвычивость кукурузы на минеральное питание в условиях РСО-Алания / Р. А. Цуциев, **Т. К. Лазаров** / Актуальные вопросы науки и образования : мат. II междунар. науч.-практ. конф. – Майкоп, 2020. – С. 145-148.
35. Дзанагов, С. Х. Физико-химические свойства чернозема выщелоченного в зависимости от длительного применения удобрений / С. Х. Дзанагов, **Т. К. Лазаров**, З. Т. Кануков [и др.] / Энтузиасты аграрной науки : мат. Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 310-летию И.Г. Вавилеруса и 90-летию В.Н. Ефимова– Краснодар, 2019. – С. 146-151.
36. **Лазаров, Т. К.** Баланс основных питательных элементов под посевом озимой пшеницы в зависимости от удобрений на выщелоченных черноземах / **Т. К. Лазаров**, А. Е. Басиев, Б. Р. Ханикаев / Инновационные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции : мат. Всерос. науч.-практ. конф. в честь 90-летия факта технологического менеджмента. – Владикавказ, 2019. – С. 44-47.
37. **Лазаров, Т. К.** Энергетическая эффективность применения удобрений под озимую пшеницу на выщелоченных черноземах / **Т. К. Лазаров**, Б. Р. Ханикаев, Р. А. Цуциев / Инновационные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции : мат. Всерос. науч.-практ. конф. в честь 90-летия факта технологического менеджмента. – Владикавказ, 2019. – С. 42-44.
38. Еремина, А. В. Азотный режим чернозема выщелоченного под посевом люцерны в зависимости от удобрений в условиях лесостепной зоны / А. В. Еремина, Г. В. Бекуридзе, **Р. А. Цуциев**, Т. К. Лазаров // Вестник науч. тр. мол. учёных, асп., маг. и студ. ФГБОУ ВО Горский ГАУ. – Владикавказ, 2018. – С. 23-25.
39. Еремина, А. В. Влияние удобрений на показатели кислотности чернозема выщелоченного лесостепной зоны под посевом люцерны / А. В. Еремина, А. П. Хубулова, Р. А. Цуциев, **Т. К. Лазаров** // Вестник науч. тр. мол. учёных, асп., маг. и студ. ФГБОУ ВО Горский ГАУ. – Владикавказ, 2018. – С. 18-20.
40. Еремина, А. В. Фосфорно-калийный режим чернозема выщелоченного под посевом люцерны в зависимости от удобрений в условиях лесостепной зоны / А. В. Еремина, Р. А. Цуциев, В. В. Кайтмазова, **Т. К.** // Вестник науч. тр. мол. учёных, асп., маг. и студ. ФГБОУ ВО Горский ГАУ. – Владикавказ, 2018. – С. 20-22.
41. Цуциев, Р. А. Эффективность применения удобрений под люцерну на выщелоченных черноземах / Р. А. Цуциев, **Т. К. Лазаров**, С. Х. Дзанагов / Теоретические и технологические основы биогеохимических потоков веществ в агроландшафтах : мат. Междунар. науч.-практ. конф. посвящ. 65-летию каф. агрохимии и физиологии растений Ставропольского ГАУ. – Ставрополь, 2018. – С. 114-117.
42. Дзанагов, С. Х. Баланс питательных элементов под озимой пшеницей в зависимости от удобрений / С. Х. Дзанагов, А. Е. Басиев, [...], **Т. К. Лазаров** [и др.] / Достижения науки - сельскому хозяйству : мат. Всерос. науч.-практ. конф. – Владикавказ, 2017. – С. 36-39.
43. Кануков, З. Т. Влияние удобрений на пищевой режим почвы и баланс элементов питания под озимой пшеницей в условиях лесостепной зоны РСО-Алания / З. Т. Кануков, А. Е. Басиев, **Т. К. Лазаров**, С. Х. Дзанагов / Эволюция и деградация почвенного покрова : мат. V Междунар. науч. конф. – Ставрополь, 2017. – С. 114-117.
44. Кануков, З.Т. Влияние удобрений на продуктивность полевого севооборота в лесостепной зоне РСО-Алания / З. Т. Кануков, **Т. К. Лазаров**, А. Е. Басиев [и др.] / Актуальные вопросы применения удобрений в сельском хозяйстве : мат. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию С.Х. Дзанагова. - Владикавказ, 2017. - С. 41-44.
45. Ханикаев, Б. Р. Влияние разных уровней удобренности на показатели плодородия почвы и урожайности озимой пшеницы в условиях лесостепной зоны РСО-Алания / Б. Р. Ханикаев, З. Т. Кануков, [...], **Т. К. Лазаров** [и др.] / Реализация методологических и методических идей профессора Б.А. Доспехова в совершенствовании адаптивно-ландшафтных систем земледелия : мат. Междунар. науч.-практ. конф. – Москва-Суздаль, 2017. – С. 322-326.

46. Гагиев, Б. В. Экономическая и энергетическая эффективность применения удобрений под клевер луговой на черноземах выщелоченной лесостепной зоны РСО-Алания / Б. В. Гагиев, З. Т. Кануков, [...], **Т. К. Лазаров** [и др.] // Вестник науч. тр. мол. учёных, асп., маг. и студ. ФГБОУ ВО Горский ГАУ. – Владикавказ, 2016. – С. 59-62.

47. Кануков, З. Т. Влияние уровней минерального питания на продукционные процессы, урожайность и качество кукурузы на силос / З. Т. Кануков, **Т. К. Лазаров**, А. Е. Басиев [и др.] / Достижения науки - сельскому хозяйству : мат. регион. науч.-практ. конф. – Владикавказ, 2016. – С. 28-33.

48. Ханикаев, Б. Р. Баланс питательных веществ в системе почва - растение - удобрение под кукурузой в зависимости от применения удобрений / Б. Р. Ханикаев, С. Х. Дзанагов, [...], **Т. К. Лазаров** [и др.] / Перспективы развития АПК в современных условиях : мат. 6-й междунар. науч.-практ. конф. – Владикавказ, 2016. – С. 12-16.

49. Ханикаев, Б. Р. Влияние разных комбинаций NPK на питательный режим выщелоченного чернозема и урожайность озимой пшеницы / Б. Р. Ханикаев, З. Т. Кануков, **Т. К. Лазаров** [и др.] / Достижения науки - сельскому хозяйству : мат. регион. науч.-практ. конф. – Владикавказ, 2016. – С. 33-36.

50. Гагиев, Б. В. Влияние различных комбинаций NPK на питательный режим чернозема выщелоченного и урожайность культур звена полевого севооборота / Б. В. Гагиев, З. Т. Кануков, **Т. К. Лазаров**, С. Х. Дзанагов / Агротехнологии XXI века : мат. Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию Пермской ГСХА и 150-летию Д.Н. Прянишникова. – Пермь, 2015. – С. 23-28.

51. Кануков, З. Т. Вынос основных питательных элементов культурами звена севооборота на выщелоченном черноземе РСО-Алания / З. Т. Кануков, А. Ю. Хадилов, [...], **Т. К. Лазаров** [и др.] // Вестник науч. тр. мол. учёных, асп., маг. и студ. ФГБОУ ВО Горский ГАУ. – Владикавказ, 2010. – С. 13-16.

52. Халиев, А. М. Влияние системы удобрения на содержание гумуса на выщелоченных черноземах РСО-Алания / А. М. Халиев, З. Т. Кануков, А. Е. Басиев, **Т. К. Лазаров** / Актуальные и новые направления сельскохозяйственной науки : мат. VI Междунар. конф. мол. ученых, асп. и студ. – Владикавказ, 2010. – С. 3-4.

53. Езев, А. А. Влияние уровня питания на урожай и качество зерна озимой пшеницы / А. А. Езев, З. Т. Кануков, А. Е. Басиев, **Т. К. Лазаров** / Актуальные и новые направления сельскохозяйственной науки : мат. V Междунар. конф. мол. ученых, асп. и студ., посвящ. 90-летию агроном. фак-та Горского ГАУ. – Владикавказ, 2009. – С. 48-50.

54. Хадилов, А. Ю. Качественные показатели зерна озимой пшеницы в зависимости от различных доз удобрений / А. Ю. Хадилов, А. Е. Басиев, **Т. К. Лазаров**, С. Х. Дзанагов / Актуальные и новые направления сельскохозяйственной науки : мат. IV Междунар. конф. мол. ученых, асп. и студ. – Владикавказ, 2008. – С. 28-29.

55. Кануков, З. Т. Влияние возрастающих доз азота по различным фонам на урожайность клевера лугового в лесостепной зоне РСО-Алания / З. Т. Кануков, А. Е. Басиев, [...], **Т. К. Лазаров** [и др.] / Актуальные и новые направления сельскохозяйственной науки : мат. III Междунар. конф. мол. ученых, асп. и студ., посвящ. юбилею С.А. Бекузаровой – Владикавказ, 2007. – С. 89-90.

56. Хадилов, А. Ю. Горные земли Северного Кавказа: пути предотвращения деградации и восстановления их плодородия / А. Ю. Хадилов, А. Е. Басиев, **Т. К. Лазаров** [и др.]. : мат. Всерос. науч.-практ. конф. - Владикавказ, 2006. – С. – 373.

57. **Лазаров, Т. К.** Предгорные земли Северного Кавказа: пути предотвращения деградации и восстановления их плодородия / **Т. К. Лазаров**, А. Е. Басиев, А. Ю. Хадилов [и др.] мат. Всерос. науч.-практ. конф. - Владикавказ, 2006. – С. - 266.

58. Дзанагов, С. Х. Содержание и баланс гумуса в полевом севообороте в зависимости от удобрений на выщелоченных черноземах РСО-Алания / С. Х. Дзанагов, **Т. К. Лазаров**, А. Е. Басиев // Бюлл. ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова. - 2003. - № 117. - С. 31.

59. Дзанагов, С. Х. Влияние удобрений на агрохимические свойства выщелоченного чернозема РСО-Алания / С. Х. Дзанагов, **Т. К. Лазаров** : мат. науч.-практ. конф. препод., сотр., асп. БГСХА. - Улан-Удэ, 2002. – С. 45.

60. Дзанагов, С. Х. Влияние удобрений на качество зерна кукурузы на выщелоченных черноземах / С. Х. Дзанагов, **Т. К. Лазаров**, Р. В. Батыров / Материалы научно-практической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов БГСХА. - Улан-Удэ: издательство БГСХА, 2002. – С. 46-47.

61. Дзанагов, С. Х. Потребление питательных веществ растениями кукурузы в зависимости от удобрений на выщелоченных черноземах Северной Осетии / С. Х. Дзанагов, **Т. К. Лазаров** : мат. науч.-практ. конф. препод., сотр., асп. БГСХА. - Улан-Удэ, 2002. - С. 42-43.

62. **Лазаров, Т. К.** Динамика подвижного фосфора в почве под культурами севооборота на выщелоченных черноземах / Т. К. Лазаров, А. Е. Басиев // Бюлл. ВНИИА им. Д. Н. Прянишникова. - 2002. - Т. 116. - С. 208.

63. **Лазаров, Т. К.** Влияние удобрений на агрохимические свойства выщелоченного чернозема Северной Осетии / **Т. К. Лазаров**, С. Х. Дзанагов / Экологически безопасные технологии в сельскохозяйственном производстве XXI века : мат. междунар. науч.-практ. конф. – Владикавказ, 2000. – С. 226-227.

64. **Лазаров, Т. К.** Питательный режим выщелоченного чернозема в зависимости от агроэкологических условий / **Т. К. Лазаров**, С. Х. Дзанагов / Экологически безопасные технологии в сельскохозяйственном производстве XXI века : мат. междунар. науч.-практ. конф. – Владикавказ, 2000. – С. 227-228.

65. **Лазаров, Т. К.** Процесс формирования урожая зерна озимой пшеницы в зависимости от удобрений в условиях лесостепной зоны РСО-Алания / Т. К. Лазаров, С. Х. Дзанагов / Биологическое разнообразие и экологический мониторинг в РСО-Алания. / Сб. науч. тр. СОГУ. Вып. 1. – Владикавказ, 2000. – С. 44-49.

66. **Лазаров, Т. К.** Продуктивность звена полевого севооборота в зависимости от удобрений / **Т. К. Лазаров**, В. Б. Цугкиева, С. Х. Дзанагов. / Растительные ресурсы и биотехнология в агропромышленном комплексе : мат. междунар. науч.-практ. конф. – Владикавказ, 1998. – С. 14-18.

67. **Лазаров, Т. К.** Влияние удобрений на урожай и качество люцерны и питательный режим выщелоченного чернозема / **Т. К. Лазаров**, С. Х. Дзанагов : мат. науч.-практ. конф. ГТАУ по итогам НИР 1996 года. - Владикавказ, 1997. – С. 23-26.

68. Басиева, Л. Ж. Влияние удобрений на урожай и качество озимой пшеницы / Л. Ж. Басиева, **Т. К. Лазаров**, С. Х. Дзанагов / Оптимизация структур ландшафтного земледелия в условиях адаптивной интенсификации. - Владикавказ, 1996. - С. 6-8.

69. Кцоев, А. С. Влияние разных уровней удобрённости на рост и формирование биомассы, урожайность озимой пшеницы и питательный режим выщелоченных черноземов Северной Осетии / А. С. Кцоев, Л. Ж. Басиева, **Т. К. Лазаров**, С. Х. Дзанагов / Принципы паритетов социально-экономической и экологической политики в условиях Кавказа : мат. междунар. науч.-практ. конф. - Владикавказ, 1995. – С. 11-14.