

На правах рукописи

УДК 631.559:631.452:631.445.24:631.582:631.8

ЧУХИНА
ОЛЬГА ВАСИЛЬЕВНА

ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР И ПЛОДОРОДИЕ ДЕРНОВО-
ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ СЕВЕРО-ЗАПАДА НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ
ПРИ РАЗНОЙ НАСЫЩЕННОСТИ ПОСЕВОВ УДОБРЕНИЯМИ

Специальность 06.01.04 – агрохимия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора сельскохозяйственных наук

Вологда-Молочное
2022

Работа выполнена в 1990–2018 гг. на кафедре растениеводства, земледелия и агрохимии ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА.

Научный
консультант
Официальные
оппоненты:

Шафран Станислав Аронович

доктор сельскохозяйственных наук

Иванов Алексей Иванович

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», отдел физико-химической мелиорации и опытного дела, заведующий отделом

Виноградов Дмитрий Валериевич

доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева», кафедра агрономии и агротехнологий, заведующий кафедрой

Федотова Людмила Сергеевна доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха», лаборатория агрохимии и биохимии, главный научный сотрудник

Ведущая
организация

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверская государственная сельскохозяйственная академия»

Защита диссертации состоится 30 июня 2022 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 006.029.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова». Адрес: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д.31а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке при ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова», на сайте: https://vniia-pr.ru/upload/iblock/cac/chukhina_diss_09_03_2022.pdf

Автореферат разослан «__» _____ 2022 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направить по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31а, учёному секретарю диссертационного совета. E-mail: dissovet_vniia@mail.ru

Учёный секретарь
диссертационного
совета

Никитина
Любовь Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Агрохимические средства в агробиосистеме остаются важным фактором получения высокой стабильной урожайности культурных растений, средством поддержания и регулирования уровня плодородия почв.

Урожайность сельскохозяйственных культур, качество растениеводческой продукции, плодородие почв зависят от степени окультуренности почв, сроков, способов, доз вносимых удобрений, соотношения в них основных элементов питания, от сочетания органических, известковых и минеральных удобрений, т.е. от системы их применения.

В Государственной программе «Развитие агропромышленного комплекса и рыбохозяйственных комплексов Вологодской области на 2021–2025 годы» экономически значимыми направлениями развития сельского хозяйства региона является развитие мясного и молочного скотоводства, что традиционно для области и региона. Рост производства продукции животноводства возможен только при наличии достаточного количества полноценных кормов собственного производства, поэтому повышение продуктивности сельскохозяйственных культур – важная задача, стоящая перед наукой и производством области.

Агрохимическая служба Российской Федерации за 50-летний период своей деятельности накопила обширный материал по влиянию различных видов и доз минеральных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур. Научные учреждения страны убедительно доказали, что за счет внесения удобрений получается около 50 % сельскохозяйственной продукции. Особенно велика их роль и эффективность в Нечерноземной зоне, где благоприятные климатические условия для роста и развития сельскохозяйственных культур, но почвы очень бедные и хорошо отзываются на удобрения (Чухина, 1999; Жуков, Чухина, 2013; Чеботарев Н.Т., 2021; Сычев В.Г., 2021; Понкратенкова И.В. 2019; Белоусова Е.Г., 2021; Денисов А.А., 2021; Сычев В.Г., Никитина Л.В., 2021). Но в условиях производства процент участия удобрений в формировании урожая культурных растений значительно ниже (Сычёв, 2000; Акманаева Ю.А., 2019; Гамзиков Г.П., 2017), что говорит о невысоком уровне эффективности применения удобрений.

На современном этапе развития науки определение оптимальных доз удобрений проводится на основе эмпирических (экспериментальных и нормативных), балансовых, а также экономико-математических методов. Известны также методы элементарного баланса расчета доз удобрений на планируемую урожайность сельскохозяйственных культур, на планируемую прибавку урожайности и др. (Державин Л.М., Литвак Ш.И., Михайлов Н.Н., 1978; Ненайденко Г.Н., Трифонова М.Ф., 1991; Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И., 2002; Шафран С.А., 2019).

Ю.П. Жуковым (1983) был предложен научно-методический подход к расчету доз удобрений с помощью балансовых коэффициентов использова-

ния элементов из почв и удобрений, обеспечивающих соответствие продуктивности культур оптимальным агрохимическим показателям плодородия почв.

Основной задачей агрохимической науки на сегодняшний день является изучение влияния агрохимических свойств почв на эффективность минеральных удобрений в различных регионах Нечерноземья. Оценка географических особенностей действия удобрений представляет большой интерес при планировании рациональных доз, сроков и способов внесения минеральных удобрений в различных регионах страны. В этом случае появляется реальная возможность на объективной основе разработать модели прогноза их эффективности, обеспечивающих максимальный учёт особенностей каждого поля, и достичь получения планируемого уровня продуктивности культур севооборота при наименьших затратах питательных веществ, при сохранении уровня почвенного плодородия (Минеев, 2011; Сычѳв, Шафран, 2012; Налиухин, 2015; Бородычев В.В., 2021; Иванов А.И., 2021; Никитина Л.В., 2020; Якименко В.Н., 2019; Семененко Н.Н., 2019; Никитина Л.В., Романенков В.А., 2020; Никитина Л.В., 2019; Келехсашвили Л.М., 2021; Караулова Л.Н., 2019; Гамзиков Г.П., 2018; Бойко В.С., 2021).

В Вологодской области за последние годы идет значительное снижение объемов внесения удобрений в почву. Если в 1991 году на 1 га пашни было внесено 122 кг/га д.в. минеральных удобрений и 8,2 т/га органических, то в 1996 году только 29 кг/га д.в. и 3,2 т/га соответственно. Можно отметить, что за период 2004–2008 гг. в области наметилась тенденция увеличения объемов внесения минеральных и органических удобрений в почву, что, безусловно, отразилось на плодородии почв. Затем наблюдался период снижения применения удобрений. По данным агрохимического обследования на 01.01.2010 года 36,2 % пашни занимали площади с кислыми почвами. Наблюдалось снижение содержания подвижных элементов питания в почвах. За 1991–2015 гг. изменилось содержание подвижного фосфора незначительно, до 120–136 мг/кг, уменьшилось содержание подвижных форм калия с 123 до 103 мг/кг почвы. В среднем за 2015 год в Вологодской области было внесено 33,6 кг д.в. минеральных удобрений на 1 га пашни, что ниже, чем в 1990 году в 4 раза, органических – всего 3 т/га пашни при научно-обоснованной потребности для дерново-подзолистых почв Нечерноземья 10–12 т/га (Данные ФГУ ГЦАС «Вологодский», 2005, 2010, 2015.; Налиухин А.Н., 2021).

В связи с созданием селекционерами новых высокопродуктивных сортов культурных растений актуальной задачей является выявления их отзывчивости на применение различных видов, доз и систем удобрений. Необходимо изучить влияние азотных, фосфорных, калийных, органических удобрений, а также различных систем удобрения на повышение урожайности новых сортов сельскохозяйственных культур (Жученко, Рожмина, 2009; Тихомирова, Сорокина, 201; Гамзиков Г.П., 2015; Артамонов С.Г., 2019; Шабанов А.Э., Киселѳв Л.С., Тимошина Н.А., Князева Е.В., 2019; Смуренкова А.А., 2019; Николаев В.А., 2021; Алферов А.А., 2021).

Цель исследований – изучить влияние различных систем удобрений в севообороте Северо-Западного Нечерноземья России на получение планируемой урожайности культур, изменение агрохимических факторов плодородия дерново-подзолистых почв и оценить агрономическую, энергетическую, экономическую эффективность удобрений.

Задачи исследований включали:

1. Изучить влияние различных систем удобрения на урожайность и качество культур севооборота Северо-Западного Нечерноземья России и их окупаемость прибавкой урожая.

2. Выявить системы удобрений и показатели плодородия легко- средне-суглинистых дерново-подзолистых почв, при которых достигается наибольшая продуктивность культур севооборота.

3. Установить влияние различных систем удобрения на вынос элементов питания урожаем культур при длительном внесении в Северо-Западном Нечерноземье России.

4. Изучить действие различных систем удобрения на основные агрохимические показатели плодородия дерново – подзолистых почв Северо-Западного Нечерноземья.

5. Рассчитать баланс элементов питания при различных системах удобрения.

6. Определить величины затрат удобрений и выноса элементов питания на изменение их содержания на 10 мг/кг почвы при различном соотношении прихода и расхода.

7. Определить тесноту и направления связи между комплексом агрохимических показателей дерново-подзолистых почв и эффективностью систем удобрений, применяемых в севооборотах Нечернозёмной зоны.

8. Провести экономическую, энергетическую оценку дифференцированного применения по агрохимическим показателям почвы систем удобрения в севообороте Северо-Западного Нечерноземья.

Научная новизна. Впервые в длительном стационарном опыте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве изучено влияние различных систем удобрения на урожайность культур севооборота Северо-Западного Нечерноземья России и их окупаемость прибавкой урожая.

Определены агрохимические показатели дерново-подзолистых почв и системы удобрений, при которых достигается наибольшая продуктивность культур севооборота.

Изучено влияние различных систем удобрения на основные агрохимические показатели дерново – подзолистых почв Северо-Западного Нечерноземья.

Определены фактические балансовые коэффициенты использования элементов питания удобрений и почвы, баланс элементов питания.

Определены затраты и вынос элементов питания сверх внесённого количества для изменения их содержания на 10 мг/кг почвы, их связь с балансовыми коэффициентами.

Уточнены выносы единицей продукции элементов питания различными культурами за длительный период внесения удобрений.

Определена связь между агрохимическими показателями дерново-подзолистой почвы и эффективностью систем удобрения в севообороте в Нечернозёмной зоне с использованием методов математического моделирования.

Проведена экономическая, энергетическая оценка дифференцированного применения по агрохимическим показателям почвы систем удобрения в севообороте Северо-Западного Нечерноземья.

Установлены коэффициенты возмещения выноса, при которых достигается наиболее положительные действия удобрений для получения планируемого урожая.

Положения, выносимые на защиту:

1. Дозы азотных, фосфорных и калийных удобрений при различных системах удобрений культур севооборота и их окупаемость прибавкой продуктивности, исходя из конкретных агрохимических показателей почвы.

2. Урожайность культур севооборота без внесения удобрений, при применении минимальных доз удобрений и расчётных систем удобрения культур севооборота Северо-Западного Нечерноземья.

3. Нормативы изменения содержания элементов питания для поддержания или изменения уровня почвенного плодородия на землях сельскохозяйственного назначения в Северо-Западной части Нечерноземья России.

4. Уточнённые и рекомендуемые выносы элементов питания однолетними травами, озимой рожью, картофелем, ячменём, коэффициенты возмещения и балансовые коэффициенты использования элементов питания удобрений и почвы при длительном внесении различных доз удобрений.

5. Уравнение связи содержания элементов питания в почве и продуктивности культур севооборота при применении удобрений.

6. Экономическая и энергетическая эффективность применения расчётных систем удобрения культур севооборота, дифференцированных по агрохимическим показателям почвы.

Практическая значимость и реализация результатов исследований заключается в разработке научно-обоснованной системы удобрения в севообороте на среднекультуренных дерново-подзолистых почвах северо-запада Нечерноземья для получения среднемноголетних урожаев зеленой массы однолетних трав – 26 т/га, озимой ржи – 3,6, картофеля – 24 и ячменя – 3,6 т/га с одновременным регулированием некоторых показателей эффективного плодородия почв. Для определения оптимальных доз в севообороте за ротацию плановый баланс возмещения может составлять: по азоту – 80–120%; по фосфору – 70–110%; по калию – 60–100 %, не нарушая, в целом, экологического равновесия в окружающей среде.

Научные разработки нашли применение в сельскохозяйственных предприятиях Вологодской области в рамках НИОКР, выполненных под руководством автора при поддержке Департамента сельского хозяйства и продоволь-

ственных ресурсов Вологодской области по следующим темам: «Влияние минимальной и расчётных доз удобрений и гербицидов на продуктивность культур и плодородие дерново-подзолистой почвы в севообороте» (2011), «Влияние удобрений и биопрепаратов на продуктивность льна-долгунца в 7-польном севообороте» (2012); «Тенденции изменения плодородия дерново-подзолистой почвы при применении минимальных доз и расчётных систем удобрения в севооборотах с целью внедрения в хозяйства Вологодской области оптимальных технологий для сохранения плодородия почв» (2013). Результаты исследований были использованы при написании в 2013 году учебного пособия «Разработка системы удобрения сельскохозяйственных культур в северной части европейской России» (в соавторстве с Суковым А.А.), в 2016г. – монографии «Агроэнергетическая эффективность применения расчётных доз удобрений в севообороте Вологодской области» (в соавторстве с Усовой К.А.), в 2018г. – учебного пособия «Особенности системы удобрения сельскохозяйственных культур на европейском севере России» (в соавторстве с Суковым А.А., Токаревой Н.В., Налиухиным А.Н.). Последняя работа завоевала бронзовую медаль на выставке «Золотая осень» 2018 года. В ряд с.-х. предприятий Вологодской области разработки были внедрены.

Организация исследований и личный вклад соискателя.

Автору принадлежит формулировка темы работы, цели, задач, разработка программы исследований, выполнении полевых научных исследований в 1991–2018 гг., анализ литературных источников, проработка отчётной документации ГЦАС «Вологодский», разработка и анализ моделей эффективности удобрений, формулировка выводов работы и публикации результатов, внедрение в производство. Автор являлся руководителем НИОКР кафедры земледелия и агрохимии ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА по теме: «Продуктивность культур и плодородие дерново-подзолистой почвы при применении удобрений в севообороте», № гос. регистрации 01201250294.

Планирование полевых опытов, их проведение в 1990–2018 гг. на опытном поле ВГМХА им. Н.В. Верещагина и др. организациях, анализ и обобщение полученных результатов осуществлено автором лично, а также при участии ФГБУ ГЦАС «Вологодский». Часть производственных опытов проведено в рамках совместной работы с Департаментом сельского хозяйства и продовольственных ресурсов. Часть результатов под руководством Чухиной О.В. были защищены и опубликованы в кандидатских диссертациях следующими диссертантами: Быковым Г.Н. (2006 г.), Куликовой Е.И. (2012 г.), Усовой К.А. (2013 г.), Суровым В.В. (2015 г.), Токаревой Н.В. (2015 г.).

Все полученные результаты отражены в совместных и личных публикациях.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано более 60 научных изданий, из них более 30 в журналах, рецензируемых ВАК РФ.

Апробация работы. Основные результаты исследований ежегодно представлялись на Всероссийских конференциях с международным участием,

проводимых в рамках недели факультета агрономии и лесного хозяйства Вологодской ГМХА, другими ведущими организациями РФ. За последние 5 лет ежегодно участвовала на научно-практической конференции с международным участием «Аграрная наука на современном этапе: состояние, проблемы, перспективы» (I – VI Емельяновские чтения) (г. Вологда, 2017–2022 гг.), на III – V Всероссийском Молочном форуме (г. Вологда, 2019–2021 гг.), а также в Международной научно-практической конференции «Сельское и лесное хозяйство: перспективные направления развития» (г. Вологда, 2017–2021 гг.), Всероссийском координационном совещании научных учреждений – участников Географической сети опытов с удобрениями «Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий...» (г. Москва, 2018, 2021 гг.), Международной научно-практической конференции «Сельское хозяйство и продовольственная безопасность: технологии, инновации, рынки, кадры» (г. Казань, г. Самара, 2019 г.), Международной научно-практической конференции «Современные тенденции в науке и образовании: новый взгляд» (г. Нефтекамск, 2020 г.), IV Международной научно-практической конференции «Научные основы повышения эффективности сельскохозяйственной продукции» (г. Харьков, Украина, 2020 г.), Всероссийской научно-практической конференции «Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России» (г. Иваново, 2020 г.), и др.

Объём и структура работы. Диссертационная работа изложена на 314 страницах основного текста и 59 страницах приложений. Включает 88 таблиц, 68 рисунков, 71 приложение. Структурно состоит из введения, 9 глав, выводов, предложений производству, списка литературы, содержащего 325 наименований, в том числе 19 на иностранных языках.

Автор глубоко признателен научному консультанту, доктору с.-х. наук С. А. Шафрану, ректору ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА Н. Г. Малкову за помощь, ценные советы, замечания и содействие в проведении эксперимента.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Вологодская область находится в зоне рискованного земледелия, получение плановых урожаев в которой затруднено в силу неблагоприятных почвенно-климатических условий. Невысокий уровень фотосинтетически активной радиации, высокая вероятность заморозков в начале июня и со второй половины августа, неустойчивость режима увлажнения по годам определяют ограниченный набор сельскохозяйственных культур, способных формировать высокие урожаи в данных условиях.

Однако, грамотный подбор культур и сортов, применение минеральных и органических удобрений, окультуривание почвы, проведение мелиоративных мероприятий, введение правильных севооборотов, строгое соблюдение агротехники позволяют и в нашей зоне получать высокие урожаи.

На продуктивность сельскохозяйственных культур большое влияние оказывают агрохимические показатели почвенного плодородия (Авдонин Н.С., Соловьев Г.А., 1978; Лебедева Л.А., 1978,1984; Гамзиков Г.П. и др., 1989, 2017; Минеев В.Г. и др., 1988, 1990, 2009; Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И., 2016; Гомонова Н.Ф.,2010).

Продуктивность культур зависит от применения минеральных и органических удобрений. Повышение уровня питания оказывает значительное влияние на рост и развитие растений, в том числе и на увеличение урожая по всех регионах нашей страны (Адрианов С.Н., 2004; Несмеянова Н.И., Калашник Г.И., Санин А.А., 2010; Солдатов П.А., 2010; Кирдин В.Ф., 2008; Белоус Н.М., Малявко Г.П., Шаповалов В.Ф., 2009; Внукова М.А., Титова Е.М., 2008; Ширинян М.Х. с соавт, 2008; Чухина О.В., Куликова Е.И., 2011; Дзюин А.Г. и др. 2007, 2010; Гамзиков Г.П., 2018; Денисов А.А., 2021; Смуренкова А.А., 2019). Изменяя условия минерального питания растений, можно уменьшить зависимость величины урожайности от погодных условий (Кошкин Е.И., 2010, 2018; Пухальская Н.В., Сычев В.Г., Собачкин А.А., Павлова Н.И., 2009; Семенов Н.Н., 2019). Повышение урожайности сельскохозяйственных культур при применении органических удобрений отмечают такие исследователи, как Мерзлая Г.Е. с соавт, 2007, 2010, 2019, 2020 и Ямалтдинова В.Р., 2010.

Основные закономерности действия удобрений на продуктивность и качество сельскохозяйственных культур получены в длительных полевых опытах. Данные, полученные в полевых опытах Геосети, используются для прогноза эффективности применения удобрений, направления регулирования почвенного плодородия, разработки технологий интенсивного земледелия, получения стабильных урожаев высокого качества в нашей стране и за рубежом (Романенков В.А., 2012; Poulton P., 2012; Гамзиков Г.П., 2018).

В настоящее время в большинстве хозяйствующих субъектах Российской Федерации происходит резкое снижение применения минеральных и органических удобрений (Сычев В.Г., Шафран С.А., с соавт. 2012, 2013, 2019, 2020). Поскольку не наблюдается значительного снижения продуктивности сельскохозяйственных растений можно сделать вывод о том, что в настоящее время урожай формируется за счет естественного плодородия почвы, которое неуклонно снижается.

Применение минеральных и органических удобрений будет благоприятно влиять на повышение урожайности культур и плодородия почвы (Жуков Ю.П., 1996; Анас D., Martin-Prevel P., 1999; Ширинян М.Х. с соавт., 2008).

Вопросам влияния внесения минеральных и органических удобрений в различных дозах, формах и в разные сроки посвящено огромное количество научных работ – учебников (Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И., 2002; Муравин Э.А., 2014); монографий – (Адрианов С.Н., 2004); статей. Этими исследователями установлен ряд закономерностей воздействия внесения удобрений на урожайность культур, рассмотренную выше и на агрохимические показатели почвы. Так, отмечено, что создание положительного ба-

ланса по фосфору и калию вызывает повышение содержания этих элементов в почве, поскольку данные элементы слабо передвигаются по профилю (Сычев В.Г., Шафран С.А., 2012; Ваулин А.В., Коваленко А.А., Варламов В.А., 2010). Причем, чем ниже исходное содержание фосфора и калия в почве, тем меньше требуется затратить минеральных удобрений для повышения содержания в почве этих элементов на 10 мг/кг почвы (Платонов И.Г. и др., 2010).

ГЛАВА 2 ОБЪЕКТЫ, МЕТОДИКА, УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для решения поставленных задач в 1991–2018 гг. (семь ротаций севооборота) были проведены исследования в полевом стационарном опыте на опытном поле Вологодской ГМХА им. Н.В. Верещагина. Опыт включен в Госреестр длительных опытов Геосети ВНИИА (№164).

Повторность опыта – четырехкратная. Расположение делянок – систематическое. Площадь опытной делянки 140 м², учетной – не менее 24 м². Учет урожайности всех культур осуществлялся сплошным методом.

Опыт ведется в 4-польном севообороте: занятый пар – однолетние кормовые культуры (горохоовсяная, викоовсяная смесь), озимая рожь, картофель, ячмень, развёрнутом в пространстве и во времени. В опыте в годы исследований возделывались районированные сорта изучаемых культур: горох – СЗМ-85, вика – Львовская 22, Немчиновская юбилейная, овес – Кировский, Боррус, озимая рожь – Чулпан, Волхова, картофель – Столовый-19, Невский, Латона, Елизавета, Ред Скарлетт, ячмень – Зазерский-85, Выбор, Михайловский.

Почва опытного участка – среднесуглинистая, дерново-подзолистая. В пахотном слое (1990 г.) содержание гумуса составило 3,28%, подвижных Р₂О₅ и К₂О соответствовало 5 и 3 группам обеспеченности, реакция среды – слабокислая.

Во все годы исследований системы удобрения рассчитаны с помощью плановых балансовых коэффициентов использования элементов питания удобрений и почвы (Кб) для получения следующих урожайностей: озимой ржи – 3,5, картофеля – 25, ячменя – 3,5, викоовсяной смеси – 25 т/га. Кб рассчитывались как отношение выноса элемента к дозе вносимых удобрений, выраженное в % (Жуков, 1988; Чухина, Жуков 2014, 2015).

Схема опыта в первой (I) ротации севооборота (1991–1994 гг.) наряду с контрольным вариантом (1) содержала 4 испытывавшихся варианта систем удобрения: 2–4 варианты – минеральные и 5 вариант – органо-минеральная система, эквивалентная варианту 2 (табл. 2.1).

Во второй–третьей (2–3) (1995–2002 гг.) ротациях севооборота схема опыта соответствовала: вариант 1 – контроль – без удобрений; вариант 2 – припосевное удобрение однолетних культур – N₁₀P₁₀, зерновых культур – P₁₀, картофеля – N₂₀P₂₀.

Таблица 2.1 – Планируемые уровни урожайности культур и дозы удобрений в первой (I) (1991-1994гг.) ротации севооборота (Чухина О.В., 1999)

Элемент	Культура				Кб, %
	горохоовсяная смесь	озимая рожь	картофель	ячмень	
Планируемые урожаи, т/га					
	25,0	3,5	25,0	3,5	
Дозы удобрений, кг д.в. / га					
Вариант 2 *					
N	80	95	135	85	110
P ₂ O ₅	40	45	55	40	90
K ₂ O	125	100	225	85	100
Вариант 3					
N	80	95	135	85	110
P ₂ O ₅	40	45	55	40	90
K ₂ O	105	80	185	70	120
Вариант 4					
N	80	95	135	85	110
P ₂ O ₅	40	45	55	40	90
K ₂ O	180	140	320	120	70
Вариант 5					
Торфонавозный компост - 40 т/га					
N	35	60	70	30	110
P ₂ O ₅	15	35	15	15	90
K ₂ O	110	95	175	70	100

Примечание: * - Вариант 1 - контроль без удобрений.

Вариант 3 – припосевное удобрение однолетних культур – N₁₀P₁₀ зерновых культур – P₁₀, картофеля – N₂₀P₂₀ + торфонавозный компост в дозе 20 т/га; вариант 4 – торфонавозный компост в дозе 20 т/га; вариант 5 – удобрение однолетних культур N₅₅P₂₅K₆₀, озимой ржи N₈₀P₃₅K₅₀, картофеля – N₁₀₅P₃₀K₁₀₀, ячменя N₆₀P₂₅K₄₀ + торфонавозный компост в дозе 20 т/га – органо-минеральная система удобрения. Кб по азоту составил 110%, по фосфору – 100 и калию – 200%.

Схема опыта в 2003–2014 гг. (4, 5, 6 ротации севооборота) представляла собой: вариант без удобрений (1), вариант припосевного и припосадочного удобрения культур (2), два варианта исследуемых минеральных систем удобрения, различающихся Кб использования азота (3, 4) и вариант органо-минеральной системы (5), эквивалентный по дозам элементов 3 варианту. Во всех расчётных вариантах опыта запланирован отрицательный баланс по калию (Кб – 150 %) и нулевой баланс по фосфору (Кб – 100 %). По азоту в 2003 – 2014 гг. в 3 и 5 вариантах систем запланирован отрицательный баланс, а в 4 варианте – положительный баланс.

В 2015–2018 гг. по всем расчётным вариантам опыта запланирован отрицательный баланс по азоту (Кб – 120 %) и нулевой баланс по фосфору (Кб – 100 %). По калию в 3 и 5 вариантах систем запланирован нулевой, а в 4 варианте – положительный баланс.

При расчете доз удобрений использованы нормативы по выносу элементов питания 1т основной продукцией с учетом побочной по результатам

предыдущих лет исследований.

Во все годы исследований органические удобрения (компост и полупрепревший навоз) и фосфорно-калийные удобрения в виде двойного суперфосфата и калийной соли, вносили вручную под основную обработку, причем компост в дозах 20 и 40 т/га вносили под картофель.

В среднем по севообороту за 28 лет исследований дозы удобрений по вариантам составили N 24–95 P₂O₅ 20–41 K₂O 26–96 кг д.в./га, по культурам больше различались по азоту и калию (табл. 2.2, 2.3).

Таблица 2.2 – Доза удобрений по вариантам, средняя за 1991–2018 гг., кг д.в./га

Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	NPK
2*	24	20	26	70
3	76	37	77	190
4	93	33	92	218
5	95	41	96	232

Примечание. * - вариант 1 – контроль, без удобрений

Азотные удобрения, в основном, в виде аммиачной селитры, вносили под предпосевную культивацию. На делянках с озимой рожью под предпосевную культивацию вносили 1/3 годовой дозы азота, остальные 2/3 дозы азота – в подкормку (в фазе кущения на 3 и 5 вариантах и в фазу кущения и колошения на 4 варианте).

Таблица 2.3 – Средняя доза удобрений под культуры севооборота за 1991-2018 гг., кг д.в./га

Вариант	Всего, за ротацию			Среднее, в год		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Горохо-вицеовсяная смесь						
2*	148	124	189	21	18	27
3	450	220	495	64	31	71
4	535	200	600	76	29	86
5	540	250	635	77	36	91
Озимая рожь						
2	143	129	164	20	18	23
3	485	235	375	69	34	54
4	605	215	455	86	31	65
5	645	285	495	92	41	71
Картофель						
2	255	175	225	36	25	32
3	735	335	900	105	48	129
4	890	295	1080	127	42	154
5	905	355	1120	129	51	160
Ячмень						
2	133	124	149	19	18	21
3	455	240	360	65	34	51
4	575	220	430	82	31	61
5	575	270	435	82	37	62

Примечание. * - вариант 1 – контроль, без удобрений

При посеве вносили под озимую рожь, однолетние травы и ячмень сложное азотно-фосфорно-калийное удобрение, под картофель – нитроаммофос

(на 2 варианте только при посадке). Зерновые высевали сеялкой СЗУ-3,6, картофель высаживали СН-4Б-1.

Технология возделывания культур в опыте была общепринятой для Северо-Западной зоны.

Однолетние (горохо–викоовсяную смесь) убирали самоходной косилкой Е-282, зерновые культуры – прямым комбайнированием «Сампо», картофель – картофелекопалкой с последующим ручным подбором клубней.

Соотношение между товарной и нетоварной частями урожая устанавливали по пробным снопам. Образцы картофеля составлялись из 10 кустов на каждой делянке. Урожай приведен к стандартной влажности: зерно – 14%, солома – 16%, викоовсяная смесь на зеленую массу, клубни и ботва картофеля – 80%.

При анализах товарной и нетоварной частей урожаев после мокрого озоления по К. Гинзбург и др. определяли: азот по Кьельдалю (Петербургский, 1968), фосфор – на фотоколориметре, калий – на пламенном фотометре.

В начале и конце каждой ротации севооборота для определения агрохимических показателей почвы с каждого поля отбирали образцы и в них определяли агрохимические показатели общепринятыми методами.

Математическая обработка материалов исследований проведена методом однофакторного дисперсионного анализа и по Б.А. Доспехову (1985 г.) и модели уравнения – при помощи Excel.

Климат – умеренно континентальный с продолжительной умеренно холодной зимой и относительно коротким тёплым летом. Продолжительность вегетационного периода составляет около 130 дней, среднегодовая температура Вологодского района составляет 2,4°C, период с положительными температурами длится здесь 195–200 дней, с температурой > 10°C – 112 дней.

Погодные условия в период вегетации изучаемых культур и в период перезимовки озимых культур в течение 28 лет исследований были различными. В 9 лет из 28 наблюдался гидротермический коэффициент по Селянину (ГТК), значительно превысивший многолетнее значение, особенно в 1991, 2003, 2006, 2007, 2017 гг. В другие годы наблюдалось более низкое значение ГТК в сравнении со средним в весенне-летний период вегетации большинства изучаемых культур, особенно в 1992, 1994, 1995, 1999, 2002, 2010, 2013, 2014, 2015, 2016 гг.

ГЛАВА 3 ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР СЕВООБОРОТА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ

Урожайность культур севооборота в опыте определялась уровнем удобрённости и метеорологическими условиями конкретных лет исследований.

Применение расчетных доз удобрений под горохоовсяную смесь, как в определенных годы, так и в среднем за I ротацию севооборота, обеспечивало получение значительного прироста урожая. Применение различных доз ми-

неральных и органических удобрений в 1995–1998 гг. способствовало также значительному приросту урожая зеленой массы горохоовсяной смеси (табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Урожайность культур севооборота, средняя за 7 ротаций, т/га

Вариант	Однолетние травы (горохоовсяная, викоовсяная смесь), зеленая масса	Озимая рожь, зерно	Картофель, клубни	Ячмень, зерно
В среднем за I ротацию севооборота (1991–1994 гг.)				
1	17,2	2,61	16,4	3,36
2	23,5	3,64	19,9	3,89
3	23,9	3,68	20,7	3,86
4	23,6	3,91	20,7	4,03
5	23,6	3,84	20,5	4,14
В среднем за II ротацию севооборота (1995–1998 гг.)				
1	13,1	2,46	10,1	2,19
2	16,2	3,16	13,2	3,15
3	17,7	3,28	15,6	3,45
4	18,0	3,18	15,3	3,43
5	19,4	3,70	18,5	4,09
В среднем за III ротацию севооборота (1999–2002 гг.)				
1	10,9	0,85	9,5	0,56
2	12,6	1,04	10,9	0,66
3	17,9	1,69	14,8	1,26
4	17,8	1,58	14,1	1,22
5	23,6	2,23	17,0	1,70
В среднем за IV ротацию севооборота (2003–2006 гг.)				
1	16,4	2,18	10,2	2,35
2	19,7	3,00	15,8	3,22
3	27,8	3,64	21,8	4,03
4	28,4	3,87	23,3	4,28
5	30,2	4,06	24,4	4,55
В среднем за V ротацию севооборота (2007–2010 гг.)				
1	20,2	2,08	18,2	1,83
2	22,6	2,47	21,6	2,16
3	28,1	3,38	26,2	3,26
4	30,4	3,92	27,8	3,64
5	28,4	3,48	28,0	3,29
В среднем за VI ротацию севооборота (2011–2014 гг.)				
1	15,4	2,62	14,6	2,02
2	18,4	3,10	17,5	2,50
3	22,8	3,60	22,4	3,00
4	23,6	4,10	24,6	3,38
5	23,5	3,82	24,1	3,25
В среднем за VII ротацию севооборота (2015–2018 гг.)				
1	19,2	2,50	15,6	1,99
2	23,2	3,08	22,2	2,75
3	30,1	4,02	28,6	3,86
4	31,5	4,37	32,1	4,34
5	32,1	4,10	32,4	4,06

Припосевное удобрение горохоовсяной смеси (2 вар.) в среднем за II ротацию севооборота увеличивало урожайность культуры на 3,1 т/га. Применение припосевного и органического удобрения (3 вар.) и только органического удобрения (4 вар.) в среднем за II ротацию севооборота давало примерно одинаковые прибавки урожая. Наиболее существенная прибавка урожая горохоовсяной смеси была получена при применении полной дозы удобрения (5 вар.) и составляла 3,2 т/га от урожайности, полученной при применении только припосевного удобрения. В III–VII ротации применение припосевного удобрения повышало урожайность зелёной массы соответственно на 1,7 т/га, 3,3, 2,4, 3,0 и 4,0 т/га. Внесение органоминеральной системы удобрения (5 вар.) повышало урожайность культуры на 12,7 т/га. При этом, за I ротацию севооборота плановая урожайность зелёной массы горохоовсяной смеси была практически достигнута.

А за II, III, VI ротации севооборота достигнуто лишь 78%, 94, 91-94% планового уровня урожайности однолетних культур. В IV, V и VII ротации севооборота расчётные системы удобрения обеспечили 111-121%, 112-122 и 120-128% от плановой.

В среднем за 28 лет исследований наибольшая урожайность однолетних трав была получена при применении органоминеральной системы удобрения культуры. Урожайность составила 25,8 т/га, что соответствует 103% плана (табл. 3.2).

Таблица 3.2 - Урожайность культур севооборота, средняя за 28 лет исследований, т/га

№ п/п	Средняя доза NPK, кг д.в./га	Однолетние травы, зелёная масса	Озимая рожь, зерно	Картофель, клубни	Ячмень, зерно
1	Контроль, без удобрений	16,1	2,18	13,5	2,04
2	70	19,5	2,78	17,3	2,62
3	190	24,0	3,33	21,4	3,24
4	218	24,8	3,56	22,2	3,47
5	232	25,8	3,60	23,6	3,58
НСР ₀₅		2,09	0,45	2,22	0,47

Эффективность применения расчетных доз удобрения как в I, так и во II ротации севооборота на посевах озимой ржи в значительной степени изменялась по годам исследований, и, следовательно, по ротациям севооборота.

В среднем за 1991–1994 г–г. применение удобрений повышало урожайность озимой ржи на 1,03–1,30 т/га. На варианте, где был запланирован положительный баланс по калию (4 вар.), урожайность увеличилась на 0,07–0,27 т/га в среднем за I ротацию севооборота по сравнению с другими системами удобрения (табл. 3.1).

В среднем за 1995–1998 гг. при увеличении удобренности урожайность озимой ржи увеличивалась на 0,02; 0,12; 0,54 т/га соответственно на 4, 3 и 5 вариантах по сравнению со 2 вариантом. Наибольшая прибавка урожая озимой ржи была получена при применении полной дозы удобрения (5 вар.) и составила 0,42–0,54 т/га от других вариантов с применением удобрений. Применение припосевного удобрения на озимой ржи в III, IV, V, VI и VII ро-

тации повышало урожайность культуры соответственно на 0,19 т/га, 0,82, 0,39, 0,48 и 0,58 т/га по сравнению с контролем. Применение расчётных систем удобрения культуры в III–VII ротации существенно повышало урожайность зерна озимой ржи (табл. 3.1).

В среднем за 28 лет исследований на 4-5 вариантах было получено соответственно 102-103 % от планового уровня урожайности зерна озимой ржи, а на 3 варианте – 95% (табл. 3.2).

Применение расчётных доз удобрений в 1991–1998 гг. под картофель вызывало существенное повышение урожайности клубней. Припосевное удобрение в среднем за II ротацию севооборота увеличивало урожайность картофеля на 3,1 т/га. Применение припосевного и органического удобрения (3 вар.) и только органического удобрения (4 вар.) по действию на урожай клубней картофеля оказалось равноценным. Наибольшая урожайность картофеля в среднем за II ротацию севооборота была получена на 5 варианте. При этом, урожайность клубней превышала на 2,9-5,3 т/га другие варианты с применением удобрений. Применение припосевного удобрения на картофеле в III, IV, V, VI и VII ротации повышало урожайность культуры соответственно на 1,4 т/га, 5,6, 3,4, 2,9 и 6,6 т/га по сравнению с контролем. Применение различных систем удобрений повышало урожайность клубней картофеля за IV ротацию на 113–139%, за V ротацию на 44–49%, за VI ротацию на 53–68% и за VII ротацию на 83–107% по сравнению с контролем (табл. 3.1). В среднем за 28 лет получено 94% планового уровня урожайности картофеля на 5 варианте (табл. 3.2).

Применение удобрений в 1991–1998 гг. существенно повышало урожайность зерна ячменя. Так, в среднем за 1991–1994 гг. урожайность ячменя повысилась при применении удобрений на 0,50–0,78 т/га, т.е. на 15–23%. Плановый уровень урожайности ячменя в этот период был превышен на 10–18 %. Наибольшая урожайность получена при внесении полной дозы удобрения (5 вар.), прибавка зерна ячменя составила при этом 0,94 т/га по сравнению со 2-м вариантом. В 1999–2002 гг. применение органоминеральной системы удобрения (5 вар.) на 157% увеличивало урожайность зерна ячменя по сравнению со 2 вариантом. Следует отметить, что за III ротацию севооборота получена самая низкая урожайность ячменя из семи ротаций, всего лишь 48% от плановой. Применение расчётных систем удобрения повышало урожайность зерна ячменя за IV ротацию на 70–94%, за V ротацию на 78–99%, за VI ротацию на 48–67% и за VII ротацию на 94–118% по сравнению с контролем (табл. 3.1). В среднем за 28 лет (1991–2018 гг.) при применении органоминеральной системы удобрения (5 вар.) получено 102 % планового уровня урожайности зерна ячменя (табл. 3.2).

Таким образом, применение расчётной системы удобрения за 28 лет исследований позволило получить 103% планового уровня урожайности зелёной массы однолетних трав, 103% зерна озимой ржи, 94% урожайности клубней картофеля и 102 % зерна ячменя.

Эффективность доз удобрений наиболее полно можно характеризовать

по продуктивности севооборота в целом.

В среднем за I ротацию севооборота при применении расчетных доз удобрения были достигнуты плановые уровни продуктивности севооборота. Причем, при применении удобрений продуктивность культур увеличилась на 1,2-1,3 т/га кормовых единиц и все системы удобрения по действию на этот показатель оказались почти равноценными (табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Продуктивность культур севооборота и выход основной продукции при применении удобрений, по ротациям за 1991 – 2018 гг., т К.Е./га

Вариант	I ротация (1991-1994г.г.)	II ротация (1995-1998г.г.)	III ротация (1999-2002г.г.)	IV ротация (2003-2006г.г.)	V ротация (2007-2010г.г.)	VI ротация (2011-2014г.г.)	VII ротация (2015- 2018г.г.)	Средняя за 28 лет
1	4,4	3,1	1,8	3,3	3,9	3,6	3,8	3,4
2	5,6	4,2	2,1	4,5	4,6	4,4	5,1	4,4
3	5,6	4,6	3,2	5,9	5,9	5,3	6,7	5,3
4	5,7	4,5	3,1	6,2	6,5	5,9	7,4	5,6
5	5,7	5,3	4,0	6,6	6,2	5,7	7,2	5,8
НСР ₀₅	1,25							

Применение удобрений во II ротацию севооборота повышало продуктивность сельскохозяйственных культур. Причем, при применении припосевного удобрения (2 вар.) продуктивность увеличивалась на 1,1 т/га К.Е. Применение припосевного и органического удобрения (3 вар.) увеличивало продуктивность на 0,4 т/га К.Е. от 2 варианта. Применение только органического удобрения (4 вар.) увеличивало продуктивность на 0,3 т/га К.Е. от припосевного. Наибольшая продуктивность севооборота получена при применении органоминеральной системы удобрений (5 вар.) и составила прибавку в 2,2 и 1,1 т/га К.Е. от контроля и только от припосевного удобрения (1, 2 вар.). За III ротацию севооборота 2, 3, 4, 5 варианты имели преимущество перед контролем. Применение расчётных систем удобрения в IV – VII ротации севооборота обеспечило высокий уровень продуктивности культур севооборота – 5,3–7,4 т/га К.Е. (3–5 вар.).

В среднем за 28 лет исследований продуктивность культур севооборота при применении удобрений достигла 4,4 – 5,8 т К.Е./га в год. Применение различных систем удобрения (3–5 вар.) в среднем за 28 лет исследований обеспечило 92–100% планового уровня продуктивности севооборота, что фактически соответствовало плановому уровню на 5 варианте.

Выход основной продукции сильно зависел от изучаемой культуры и мало менялся в зависимости от изучаемых доз удобрений. В среднем за 28 лет исследований выход основной продукции культур составил 85–86%.

В среднем за 7 ротаций севооборота процент продуктивности от N₂₄ P₂₀ K₁₆ составил 23. Значение повысилось на 13% при применении N₇₆ P₃₇ K₇₇ (3 вар.) (табл. 3.4).

Таблица 3.4 – Доля продуктивности культур за счёт удобрений, %

Вариант	I ротация (1991-1994г.г.)	II ротация (1995-1998г.г.)	III ротация (1999-2002г.г.)	IV ротация (2003-2006г.г.)	V ротация (2007-2010г.г.)	VI ротация (2011-2014г.г.)	VII ротация (2015-2018г.г.)	Средний за 28 лет
2	21	26	14	27	15	18	31	23
3	21	33	44	44	29	32	43	36
4	23	31	42	47	40	39	49	39
5	23	42	55	50	37	37	47	41

Таким образом, плановый уровень продуктивности был достигнут за 28 лет исследований при применении органоминеральной системы удобрения. При этом, доля урожайности культур севооборота за счёт удобрений составила 33 - 45%, а доля удобрений в продуктивности – 36 - 41% (3 - 5 вар.).

Важно определить долю участия в урожайности культур севооборота различных факторов – удобрений, погодных условий, случайных факторов. Учитывая результаты статистической обработки опытных данных, выявлено, что урожайность однолетних трав и картофеля на 78 - 76% определялась погодными условиями (табл. 3.5).

Таблица 3.5 – Вклад факторов в вариабельность урожайности культур севооборота при применении удобрений в среднем за 28 лет исследований, % к общей дисперсии

Факторы	Однолетние травы	Озимая рожь	Картофель	Ячмень
Погода	78,6	43,0	75,8	51,8
Удобрения	17,2	43,4	19,1	37,0
Случайные	4,2	13,6	5,1	11,2

Доля погодных условий в формировании урожайности озимой ржи и ячменя составили соответственно 43 и 52%. Известно, что при длительном применении удобрений обеспечивается стабильная урожайность в различных погодных условиях. Роль удобрений наблюдалась значительной в формировании урожайности озимой ржи и ячменя и составила соответственно 43 и 37%.

Важным показателем качества продукции является накопление содержания и сбор «сырого» белка с урожаем культур.

В среднем за семь ротаций севооборота на однолетних травах внесение возрастающих доз азотных удобрений с 24 - 96 кг д.в./га на фоне фосфорных, и калийных повышало сбор «сырого» белка по сравнению с контролем на 34–93 % (табл. 3.6).

Таблица 3.6 – Сбор «сырого» белка с урожаем однолетних трав, озимой ржи, ячменя в среднем за 28 лет, кг/га

Вариант	Однолетние травы	Озимая рожь	Ячмень
1	350	197	350
2	470	268	470
3	623	339	623
4	649	379	649
5	675	377	675

Внесение возрастающих доз азотных удобрений на ячмене с 24 до 96 кг д.в./га на фоне фосфорных, соответственно 20–41 кг д.в./га и калийных 16–96 кг д.в./га повышало сбор «сырого» белка по сравнению с контролем на 92–239 кг/га.

В среднем за 28 лет исследований на озимой ржи внесение возрастающих доз азотных удобрений с 24 до 96 кг д.в./га на фоне фосфорных и калийных повышало сбор белка по сравнению с контролем на 71–180 кг/га (36–92 %).

Натуральный вес 1 л зерна ржи в 2007–2018 годы исследований мало менялся в годы исследований. При применении удобрений наблюдалась лишь тенденция его увеличения. По годам исследований натура зерна озимой ржи менялась от 672 до 723 г/л, и в среднем составила 700 г/л.

Число падения сильно варьировало по годам исследований и соответствовало в 2011–2018 гг. 3 классу, в 2007–2010 гг. – 2 классу и в среднем за 12 лет исследований на 2–4 вариантах 3 классу, а на 5 варианте – 2 классу (табл. 3.7).

Таблица 3.7 – Влияние удобрений на число падения озимой ржи, с

Вариант	2007-2010 гг.	2011-2014 гг.	2015-2018 гг.	Средний	
				показатель	+/- к контролю
1	168	107	109	128	-
2	158	112	118	129	+1
3	148	118	129	132	+4
4	153	126	136	138	+10
5	162	127	131	140	+12
НСР ₀₅	-	9,9	8,8	-	

Содержание крахмала в клубнях крахмала за 1991–2018 годы менялось в зависимости от погодных условий, от применяемых удобрений и изучаемых сортов.

Наименьшее накопление крахмала отмечено в 2007–2010 годы исследований, когда погода в период вегетации культур характеризовалась высокими температурами и недостатком количеством осадков в два года из четырех лет ротации. В среднем за 28 лет исследований минимальные дозы удобрений на картофеле (2 вар.) не вызывали значительных изменений в содержании крахмала, повышали лишь его на 0,05% в абс. выражении.

В среднем за 28 лет исследований применение расчётных доз удобрений (5 вар.) увеличило сбор крахмала с урожаем в 1,7 раз по сравнению с контролем.

Во все года исследований содержание нитратов в зелёной массе однолетних трав и в клубнях картофеля не превышало ПДК. Содержание нитратов в клубнях картофеля при применении различных систем удобрений составляло до 62 % от ПДК, в зелёной массе однолетних трав – до 84 %.

Вариабельность азота в зерне озимой ржи на 42% зависела от удобрений, в зерне и соломе ячменя - на 46 и 40%. Вариабельность калия в клубнях и ботве картофеля, определялась удобрениями на 48 и 36%. Вариабельность

фосфора в продукции изучаемых культур более чем на 90 % определялась погодными условиями.

ГЛАВА 4 БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЙ В СЕВООБОРОТЕ

В отдельные ротации севооборота и в среднем за 28 лет исследований вынос 1т урожая основной продукции азота, фосфора и калия изучаемых культур с учётом побочной заметно возрастал при применении удобрений, но вынос фосфора увеличивался меньше (табл. 4.1).

В среднем за 28 лет исследований под влиянием расчётных доз удобрений (5 вар.) вынос единицей продукции азота, фосфора и калия однолетними травами повышался на 0,62 кг, 0,1 и 1,1 кг.

Таблица 4.1 – Вынос элементов питания 1т зелёной массы однолетних трав, основной продукцией озимой ржи, ячменя, картофеля с учётом побочной в среднем за 28 лет, кг

Вариант	Однолетние травы, зелёная масса			Озимая рожь			Картофель			Ячмень		
	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
1	2,95	1,19	3,60	24	8,9	19	4,6	1,6	7,0	25	8,2	19
2	3,26	1,26	4,15	27	9,3	22	4,9	1,6	7,9	28	9,2	22
3	3,54	1,28	4,51	29	9,3	23	5,3	1,7	8,2	29	9,1	23
4	3,60	1,28	4,63	30	9,4	24	5,5	1,7	8,5	31	9,3	23
5	3,57	1,28	4,70	30	9,5	23	5,5	1,7	8,8	31	9,4	23
НСР ₀₅	0,51	-	0,51	1,27	0,56	0,92	0,50	-	0,52	1,4	0,70	1,33

Примечание. *Азот, используемый из удобрений и почвы, без азотфиксации

Вынос элементов питания оказался по азоту фактически равным, а по фосфору и калию был ниже рекомендуемого, соответственно на 0,1 и 0,3 кг.

Вынос элементов питания 1т зерна с учётом соломы озимой ржи также увеличивался при внесении удобрений, как в I–VII-ой ротациях, так и в среднем за 28 лет исследований. В среднем за 28 лет исследований вынос азота 1 т зерна озимой ржи с учётом побочной продукции составил при органоминеральной системе удобрений (5 вар.) 30 кг, фосфора – 9,5 и калия – 23 кг, что мало отличалось от вариантов минеральных систем удобрения (3 – 4 вар.). Вынос 1 т урожая озимой рожью азота оказался фактически равным рекомендуемому, а фосфора и калия ниже его на 2,5–2,7 кг и 2,0–3,0 кг.

В среднем за 28 лет исследований под влиянием расчётных доз удобрений (5 вар.) вынос единицей продукции азота, фосфора и калия повышался на 20 %, 6 и 26 % по сравнению с контролем. Вынос элементов питания единицей урожая картофеля оказался по азоту, фосфору и калию ниже рекомендуемого по Нечерноземью, соответственно на 8%, 15%, а по калию почти соответствовал ему.

Удобрения повышали вынос элементов питания 1 т зерна ячменя с соответствующим количеством соломы во все годы исследований. В среднем за 28 лет исследований вынос азота 1 т зерна ячменя с учётом побочной продук-

ции составил при внесении полных расчётных доз удобрений (5 вар.) 31 кг, фосфора – 9,4 и калия – 23 кг, что мало отличалось от вариантов с двадцатилетним применением расчётных доз удобрений из 28 лет (3 – 4 вар.). В среднем за 28 лет исследований вынос 1 т урожая ячменя азота превысил рекомендуемый на 15 %, оказался несколько ниже рекомендуемого по калию (на 4 %), по фосфору ниже на 14 % (табл. 4.1).

В среднем за 28 лет исследований вынос элементов питания единицей урожая отличался от рекомендуемого для северо-западной части Нечерноземья на: однолетних травах: по фосфору – на 25%, калию на 10%;

озимой ржи – по азоту – на 3%, по фосфору – на 22%, по калию – на 12%;

картофеле – по азоту на 12 %, по фосфору – на 15 %, по калию – на 7%;

ячмене – по азоту – на 11 %, по фосфору – на 18 % и калию – на 4 % (табл. 4.2).

Таблица 4.2 – Вынос элементов питания 1 т основной с учётом побочной продукции при применении удобрений в сравнении с рекомендуемыми, в среднем за 28 лет, кг

Питательные элементы	Однолетние травы (горохоовсяная, викоовсяная смесь)	Озимая рожь	Картофель	Ячмень
N	3,5*/ - **	29/ - 1	5,3/ - 0,7	30/ +3
P ₂ O ₅	1,3/ - 0,1	9,4/ - 2,6	1,7/ - 0,3	9/ - 2
K ₂ O	4,5/ - 0,5	23/ - 3	8,4/ - 0,6	23/ - 1

Примечания. *Азот, используемый из удобрений и почвы, без азотфиксации

**В знаменателе указано отклонение от рекомендуемого выноса по Нечерноземью.

В среднем за 28 лет исследований удобрения значительно повышали вынос элементов питания основной и побочной продукцией (хозяйственный) исследуемых культур в годы исследования и, (табл. 4.3).

Таблица 4.3 – Вынос элементов питания основной и побочной продукцией культур севооборота в среднем за 1991–2018 гг., кг

Вариант	Однолетние травы			Озимая рожь			Картофель			Ячмень		
	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
1	48	19	58	52	19	41	62	22	94	51	17	39
2	64	24	81	75	26	61	85	28	137	73	24	58
3	85	31	108	97	31	76	113	36	175	94	29	74
4	89	32	115	107	33	85	122	38	189	108	32	80
5	92	33	121	108	34	83	130	40	208	111	34	82

В среднем за 28 лет исследований удобрения увеличивали вынос элементов питания зелёной массой однолетних трав, причём внесение минимальной дозы удобрений (2 вар.) в 24 года из 28 лет исследований увеличивало в 1,3 раза вынос азота, фосфора и в 1,4 раза – калия. В среднем за 28 лет исследований полная расчетная система удобрения (5 вар.) способствовала увеличению выноса элементов питания однолетними травами по сравнению с контролем в 1,9 раза азота, 1,7 раза фосфора и в 2,1 раза калия.

Аналогично повышался хозяйственный вынос элементов питания другими культурами севооборота – озимой рожью, картофелем и ячменём. В сред-

нем за 28 лет исследований применение расчётной системы удобрения увеличивало хозяйственный вынос азота, фосфора и калия озимой рожью, соответственно в 2,1, 1,8 и в 2,0 раза; картофелем, соответственно, в 2,1, 1,8 и в 2,2 раза; ячменём, соответственно, в 2,2, 2,0 и в 2,1 раза (табл. 4.3).

В среднем по севообороту за 1991 – 2018 годы исследований сложился отрицательный баланс по азоту при применении удобрений в малых дозах и слабо отрицательный баланс по азоту при применении азотных удобрений в среднем за 28 лет исследований в дозах 76 – 95 кг д.в./га. И, следует отметить, что даже на 4 варианте, где в отдельные периоды удобрения вносились из расчёта создания положительного баланса данного элемента, баланс отмечен фактически равный 5 варианту. Причём, фактический Кб по азоту на 5 варианте соответствует плановому в среднем за 28 лет исследований. По фосфору отмечен отрицательный баланс на 2 варианте, почти нулевой – на 4 варианте, а на 3 и 5 вариантах, при внесении 37–41 кг/га элемента в д.в. отмечен положительный баланс, Кб фактические меньше 100%, причём меньше планового на 13% в абс. и относительном значениях (табл. 4.4).

Таблица 4.4 – Баланс питательных элементов в севообороте, в среднем за 1991–2018 годы

Показатель	Эле- мент	Вариант опыта			
		2 (N ₂₄ P ₂₀ K ₂₆)	3 (N ₇₆ P ₃₇ K ₇₇)	4 (N ₉₃ P ₃₃ K ₉₂)	5 (N ₉₅ P ₄₁ K ₉₆)
Средневзвешенный ежегодный хозяйственный вынос, кг/га	N	74	97	107	110
	P ₂ O ₅	26	32	34	35
	K ₂ O	84	108	117	124
Баланс, кг/га	N	-50	-21	-14	-15
	P ₂ O ₅	-6	+5	-1	+6
	K ₂ O	-58	-31	-25	-28
Интенсивность баланса, %	N	32	78	87	86
	P ₂ O ₅	77	115	97	117
	K ₂ O	31	71	78	77
Кб фактические, %	N	305	127	115	116
	P ₂ O ₅	132	87	102	85
	K ₂ O	324	140	127	129

Следует предположить, что содержание элемента питания при внесении его в данных дозах в среднем за годы исследований ведёт к накоплению элемента в почве.

Фактические Кб по калию оказались больше 100%, что говорит об отрицательном балансе элемента в почве, что подтверждает или соответствует планируемому значению, но Кб фактические оказались ниже планового на 21% в абс. или на 14% в относительном значении.

Так как вынос азота и калия значительно выше количества элементов, внесённых с удобрениями, то и баланс элементов питания наблюдается отрицательным. По фосфору вынос элемента ниже и близок количеству элемента, внесённого с удобрениями.

Значения баланса, полученного в среднем за 28 лет исследований и выраженные различными расчетными показателями, совпадают.

На 3–5 вариантах фактические Кб использования азота на культурах менялись от 96 до 145 %. В среднем за 28 лет исследований на 5 варианте плановый Кб использования азота равнялся 116%. На однолетних травах, озимой ржи фактический Кб почти соответствовал плановому, а на ячмене он превысил его на 19 %. На картофеле на 5 варианте получен фактический Кб использования азота 101%, что меньше планового на 15 % (рис. 4.1).

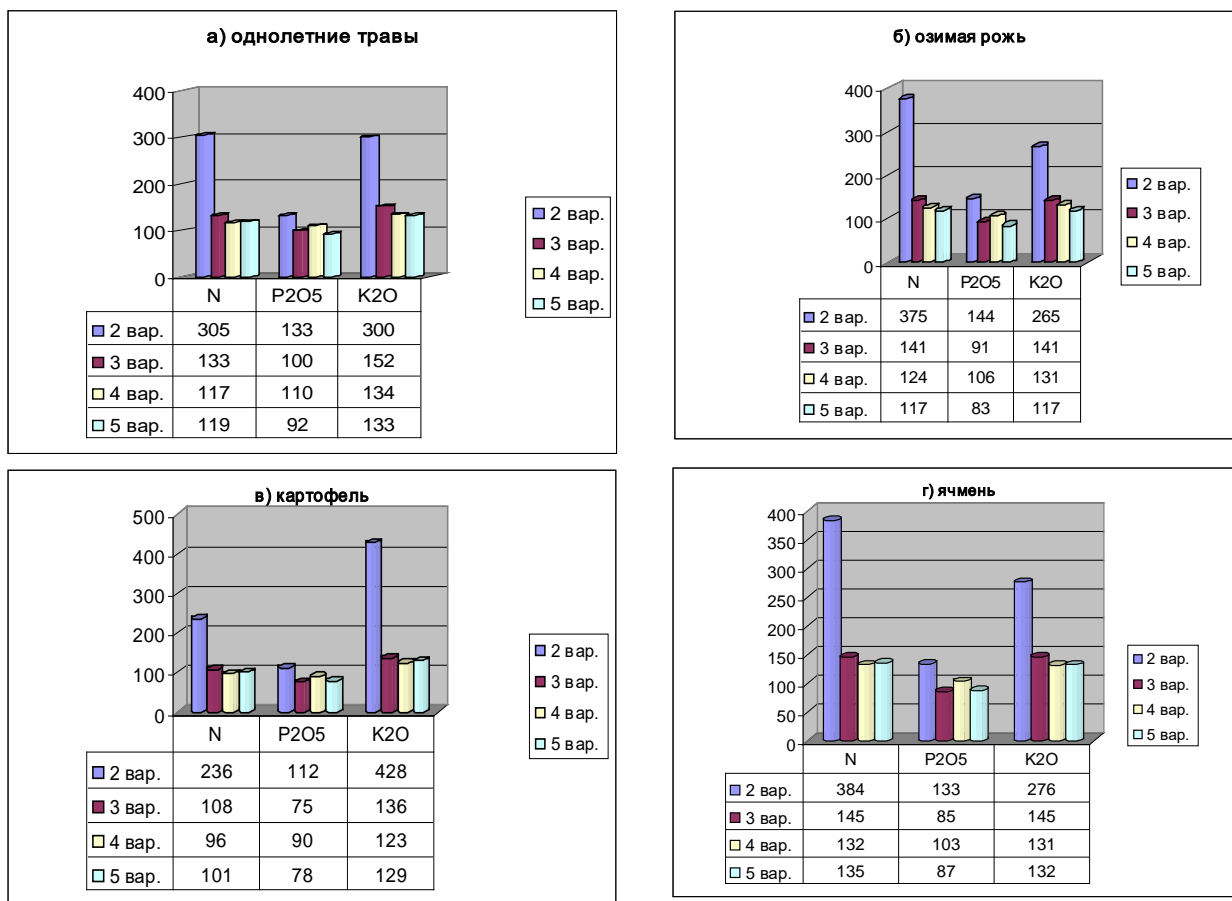


Рисунок 4.1 – Фактические Кб использования азота, фосфора и калия изучаемыми культурами в среднем за 28 лет, %:

а) однолетними травами, б) озимой рожью, в) картофелем, г) ячменём

Т.к. в среднем за 28 лет исследований, как и планировалось, получен отрицательный баланс по азоту – 115–127 %, следует предположить, что доза азота, внесённая с удобрениями, не вызывает загрязнения окружающей среды и изучаемого агрофитоценоза.

Фактический Кб использования фосфора на 3–5 вариантах изменялся от 75 до 110 %. Больше элемент использовался однолетними травами, озимой рожью и ячменём, меньше – картофелем. В среднем за 28 лет исследований на 5 варианте фактический Кб использования фосфора почти соответствовал плановому на однолетних травах, а на озимой ржи, картофеле и ячмене был меньше этого значения соответственно на 15, 20 и 11 %. Т.к. в среднем за 28 лет исследований фактические Кб использования фосфора из удобрений и

почвы оказались на 3 и 5 вариантах ниже 100% на 13 и 15 %, а на 5 варианте меньше планируемого, следует предположить, что часть вносимого элемента остаётся в почве. Следует ожидать незначительного увеличения элемента на 3 и 5 вариантах.

Фактические Кб использования калия из удобрений и почвы на 3 – 5 вариантах различными культурами менялись от 117 до 152 %.

На 5 варианте фактический Кб использования калия был более близок плановому значению на однолетних травах, картофеле и ячмене – 129 - 133%.

Больше отличался от планового на озимой ржи – на 33 %. Следует отметить, что часть элемента использовалась культурами не только из удобрений, но и из почвы. Следует ожидать уменьшения содержания элемента питания в почве, причём, меньше – на 4, 5 вариантах, больше – на 2 и 3 вариантах.

ГЛАВА 5 ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЧВЫ И ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФОСФОРА И КАЛИЯ НА 10 МГ/КГ ПОЧВЫ

На дерново-подзолистой почве в севообороте в течение исследований в зависимости от различных вносимых доз удобрений и погодных условий агрохимические показатели почвы менялись по-разному.

В 1990 году, перед закладкой опыта слой 0–20 см почвы характеризовался слабокислой реакцией среды, а более глубокие слои почвы, начиная с 20–40 см и заканчивая 80–100 см – среднекислой.

Гидролитическая кислотность в пахотном слое составляла 2,3 ммоль на 100 г почвы, а в слоях 20–40 см, 40–60, 60–80 и 80–100 см соответствовала менее кислому состоянию – 2,02–2,12 ммоль/100 г почвы.

Ёмкость катионного обмена в пахотном слое почвы соответствовала 11,2 ммоль/на 100 г почвы, следовательно, и степень насыщенности почвы основаниями составила 79%, что соответствует по классификации Г.И. Григорьева (1980) окультуренной дерново-подзолистой почве. За 28 опытных лет в слое 0-20 см на варианте без удобрений возрастала гидролитическая кислотность, и, учитывая проведение двух поддерживающих известкований, обменная кислотность не изменялась (табл. 5.1).

Обменная кислотность несколько увеличилась, на 0,1 ед. рН, по сравнению с исходными данными в слоях 20-40, 40-60 см, снизилась в слоях 40-60 и 60-80 см без удобрения культур при применении минимальных доз удобрений и при применении минеральных систем удобрений культур.

Гидролитическая кислотность сильно возросла в слоях почвы 0-20, 20-40, 40-60 см, особенно на 1 варианте, соответственно слоям, на 1,1, 1,47, 1,48 ммоль/100 г почвы. На 2 - 4 вариантах, при внесении сбалансированных доз НРК удобрений, это увеличение было меньше и составило 0,93 - 0,73, 0,50 и 0,44 ммоль/100 г почвы.

При применении органоминеральной системы удобрения (5 вар.) увеличение гидролитической кислотности наблюдалось лишь в пахотном и подпахотном слоях и составило соответственно 0,48 и 0,14 ммоль/100 г почвы.

Таблица 5.1 – Изменение физико-химических показателей дерново - подзолистой почвы при внесении удобрений через 28 лет исследований (0* - показатели перед закладкой опыта, источник – Чухина, 1999)

Горизонты	Глубина, см, вариант	pH _{KCl}	ммоль / 100 г почвы			V, %
			H ₂	S	ЕКО	
Ап	0-20					
	0*	5,1	2,30	8,9	11,20	79
	1	5,1	3,40	7,1	10,50	68
	2	5,0	3,23	8,3	11,53	72
	3	5,1	3,03	8,2	11,23	73
	4	5,1	3,24	9,8	13,04	75
	5	5,6	2,78	10,5	13,28	79
НСР ₀₅		0,1	0,2	1,6	1,4	
Ап-А₂В	20-40					
	0*	5,1	2,12	6,9	9,02	76
	1	5,0	3,59	6,0	10,19	65
	2-4	5,0	2,62	8,3	10,92	76
	5	5,5	2,56	9,4	11,96	79
НСР ₀₅		-	0,3	1,9	1,2	

Примечание. 0* - Перед закладкой опыта, 1990 г.

Аналогично гидролитической кислотности наблюдалось снижение суммы поглощённых оснований в пахотном слое почвы на вариантах без удобрений (1 вар.) и при применении минимальной дозы удобрений (2 вар.). По сравнению с исходными данными это снижение составило 1,8 и 0,9 ммоль/100 г почвы. По сравнению с исходными данными сумма поглощённых оснований увеличивалась на вариантах с применением на 0,9–1,6 ммоль/100 г почвы. При применении органоминеральной системы удобрений сумма поглощённых оснований увеличивалась на 3,4 ммоль/100 г почвы.

В слое 40–60 см наблюдалось снижение суммы поглощённых оснований на 0,4 ммоль/100 г почвы как без удобрений, так и при применении удобрений по сравнению с исходными данными. В более глубоких слоях почвы (60–80, 80–100 см) сумма поглощённых оснований повышалась по сравнению с исходными данными, на 1,9 и 2,5 ммоль/100 г почвы.

Ёмкость катионного поглощения почвы (ЕКО) повышалась при применении удобрений, незначительно, по сравнению с исходными данными и существенно, по сравнению с контролем. Изменение данного показателя было аналогично сумме поглощённых оснований.

В среднем за 28 лет исследований степень насыщенности почвы основаниями в пахотном и подпахотном слоях почвы, а также в слое почвы 40–60 см снижалась с увеличением гидролитической кислотности на варианте без удобрений (1 вар.) – на 9 %, 11 и 13 %, при применении минимальных доз (2 вар.) снижалась и не изменялась – на 7 %, 0 и 5 % по сравнению с показателем перед закладкой опыта. В слоях почвы 60–80 и 80–100 см степень насыщенности почв основаниями увеличивалась на всех вариантах по сравнению с исходной на 4–6 % и 2–4 %. Следовательно, в более глубоких слоях почвы наблюдались менее существенные изменения физико-химических показателей почвы.

Положительные тенденции изменений физико-химических показателей в пахотном, подпахотном горизонте и слоях 40-60 см показывают, что действие подзолообразовательного процесса при применении органо-минеральной системы удобрений культур севооборота (5 вар.) значительно ослабевает. Через 28 лет исследований без удобрений в пахотном горизонте содержание гумуса снизилось на 0,72 % в абсолютном значении, т.е. на 0,026% в год. При внесении минимальных доз удобрений N₂₄ P₂₀ K₂₆ (2 вар.) и N₇₆ P₃₇ K₇₇ (3 вар.) снижение гумуса составило 0,7 % в абс. значении, или 0,25 % в год.

По сравнению с контролем преимущество имел вариант органо-минеральной системы удобрения культур севооборота, но, видимо, насыщенности полей севооборота 8–10 т/га органических удобрений недостаточно, чтобы гумус остался на нулевом балансе. В подпахотном слое почвы наблюдалась та же тенденция на 1–4 вариантах. При органо-минеральной системе удобрения наблюдалось увеличение содержания и запасов гумуса соответственно на 0,11 % и 3,9 т/га (табл. 5.2).

Таблица 5.2 – Изменение гумуса и некоторых форм азота в почве при внесении удобрений после семи ротаций севооборота

Горизонт	Глубина, см, вариант	Гумус, %	Общий N, %	Запас, т/га		Легкогидролизующий N,	
				гумуса	азота	мг/кг	% от общего
Ап	0-20						
	0*	3,28	0,179	98,4	5,37	86	4,8
	1	2,56	0,128	76,4	3,84	38	3,0
	2	2,58	0,151	77,4	4,53	52	3,4
	3	2,58	0,168	77,4	5,04	61	3,6
	4	2,63	0,171	78,9	5,13	82	4,8
	5	2,78	0,171	83,4	5,13	82	4,8
НСР ₀₅		0,22	0,01			8,0	
Ап-А ₂ В	20-40						
	0*	2,06	0,131	72,1	4,58	79	6,0
	1	1,44	0,102	50,4	3,57	40	3,9
	2	1,69	0,116	59,2	4,06	56	4,8
	3	1,84	0,122	64,4	4,27	70	5,7
	4	1,84	0,125	64,4	4,38	72	5,8
	5	2,17	0,125	76,0	4,38	75	6,0
НСР ₀₅		0,18	-			7,3	

Примечание. 0* - Перед закладкой опыта, 1990 г.

Через 28 лет исследований содержание общего азота и его запасы в пахотном слое почвы снизились на всех исследуемых вариантах, особенно, как и ожидалось, без удобрений, на 0,051 % и 1,53 т/га. При внесении минимальных доз удобрений (2 вар.) и удобрений в дозах N₉₃₋₉₅ P₃₃₋₄₁ K₉₂₋₉₆ (4, 5 вар.) снижение составило соответственно 0,028 % и 0,84 т/га и лишь 0,008 % и 0,24 т/га. Процент сохранившегося общего азота при внесении расчётных доз удобрений (4-5 вар.) от контроля составил 0,043 % абсолютных ед.

В пахотном слое почвы содержание легкогидролизующего азота снизилось значительно на варианте без удобрений (1 вар.), на 48 мг/кг почвы, что

составило 1,8 % к общему. С повышением изучаемых доз удобрений наблюдалось уменьшение содержания легкогидролизуемого азота, которое составило 34 мг/кг или 1,4 % (2 вар.), 25 или 1,2% (3 вар.) и всего лишь 4 мг/кг (4, 5 вар.).

В подпахотном слое почвы наблюдалось снижение содержания общего и легкогидролизуемого азота, и, следовательно, их запасов по сравнению с исходным значением. Содержание азота в подпахотном слое снижалось по сравнению с исходными данными, причём с повышением вносимых доз удобрений снижение уменьшалось с 39 мг/кг почвы до 7 мг/кг почвы, и, фактически, при применении полной расчётной системы удобрения (5 вар.) не наблюдалось. В слое 40–60см легкогидролизуемый азот так же, как и общий, снижался на варианте без удобрений.

В слое почвы 60–80см применение удобрений даже в минимальной дозе повышало содержание гумуса, общего и легкогидролизуемого азота.

Снижение содержания гумуса, общего и легкогидролизуемого азота, особенно в пахотном и подпахотном слоях почвы даже при внесении удобрений происходит потому, что вынос элемента культурами севооборота из почвы и азотных удобрений, в основном, планировался и фактически получен выше вносимых доз азотных удобрений. Также следует отметить, что снижение элемента могло происходить и в результате миграции элемента в нижележащие слои. Возможны газообразные потери азота.

Пахотный слой почвы перед закладкой опыта характеризовался высокой ёмкостью – содержанием валового 0,17 % и подвижного фосфора 266 мг/кг почвы и низкой интенсивностью – 0,018 мг/л P_2O_5 (табл. 5.3).

Таблица 5.3 – Изменение содержания некоторых форм P_2O_5 в дерново-подзолистой почве при различной удобренности культур через 28 лет исследований

Горизонт	Глубина, см, вариант опыта	Валовый, %	Подвижный		Степень подвижности, мг/л
			мг/кг	% от валового	
Ап	0-20				
	0*	0,17	266	15,6	0,018
	1	0,12	126	10,5	0,105
	2	0,16	234	14,6	0,123
	3	0,18	274	15,2	0,137
	4	0,17	260	15,3	0,142
	5	0,18	270	15,0	0,198
НСП ₀₅		0,01	16		0,01
Ап-А ₂ В	20-40				
	0	0,12	126	10,5	0,004
	1	0,11	126	11,4	0,081
	2	0,17	263	15,5	0,090
	3	0,17	265	15,6	0,121
	4	0,17	260	15,3	0,136
	5	0,17	268	15,8	0,192
НСП ₀₅		-	13		0,01

Примечание. 0* - Перед закладкой опыта, 1990 г.

Через 28 лет исследований в пахотном слое почвы без удобрений содержание валового фосфора снизилось на 29 %, подвижного – в 2,1 раза. При применении низких доз фосфорных удобрений (20–33 кг д.в./га) (2, 4 вар.) наблюдалось незначительное снижение элемента по сравнению с исходными данными, соответственно на 0,01 % и 32 мг/кг почвы и 6 мг/кг почвы. При ежегодном внесении 37–41 кг д.в./га P_2O_5 (3, 5 вар.) наблюдалось незначительное увеличение содержания и общего фосфора, и подвижных фосфатов в почве и по сравнению с исходными данными, и с контролем, соответственно на 0,01 % и 8 и 10 мг/кг почвы (3–4 %).

Степень подвижности фосфатов наблюдалась высокой в 2018 году, выше исходного значения в 5,8–11 раза на всех исследуемых вариантах. В подпахотном слое почвы наблюдалось увеличение содержания валового и подвижного фосфора даже при применении минимальных доз удобрений. В более глубоких слоях почвы – 40–100 см – незначительное накопление валового фосфора наблюдалось при применении удобрений. В слоях почвы 40-60см, 60-80, 80-100см содержание подвижного фосфора даже без удобрений значительно повышалось, соответственно в 2,1–3,0 раза, 1,6–3,1 и 1,6–2,8 раза.

Степень подвижности элемента в нижних слоях оказалась меньше, чем в двух верхних, но превысила исходную в 5–10, 4–5 и 3,5–6 раза. Процент подвижного от валового фосфора отмечался большей стабильностью, чем другие показатели.

Так, в пахотном слое почвы при применении высоких доз фосфорных удобрений 33–41 кг д.в./га отличался от исходного на 0,3%. Следует отметить, что увеличение подвижных форм фосфора в слоях почвы 40-100см связано с тем, что данная форма способна к передвижению по профилю. Значительное накопление подвижных форм фосфатов в нижних слоях почвы связано также с уменьшением величины гидролитической кислотности в нижних слоях почвы.

Перед закладкой опыта подвижный и легкогидролизуемый калий соответствовал среднему уровню окультуренности почвы по содержанию элемента, подвижный составлял 65% от легкогидролизуемого (табл. 5.4).

В подпахотном горизонте содержание всех изучаемых форм калия было значительно ниже, чем в пахотном слое почвы. В более глубоких слоях почвы 40-100см валового калия было больше в 1,8 – 2,1 раза, чем в пахотном и легкогидролизуемого было на уровне и больше в 2,4 раза, а подвижного меньше на 24 %, 18 и 41 %, чем в пахотном слое почвы. Без удобрений через 28 лет снижалось содержание всех изучаемых форм калия как в пахотном, так и в более глубоких слоях почвы, кроме подвижного, содержание которого возросло в слое 80-100см.

При применении минимальной дозы калийных удобрений в течение 28 лет исследований из расчета 26 кг д.в./га ежегодного внесения снизилось содержание всех изучаемых форм калия в пахотном слое почвы в сравнении с исходными данными, соответственно на 0,33 %, на 35 и 44 мг/кг почвы.

Таблица 5.4 – Изменение некоторых форм К₂О в дерново - подзолистой почве при удобрении культур севооборота через 28 лет исследований

Глубина, см, вариант опыта	Валовый, %	Легкогидролизующий, мг/кг	Подвижный,		Степень подвижности, мг/л
			мг/кг	% от легкогидролизующего	
0-20					
0*	2,08	176	114	65	7,4
1	1,71	104	53	51	10,4
2	1,75	141	70	50	11,5
3	1,96	238	157	66	14,1
4	1,96	240	161	67	15,5
5	1,96	223	145	65	15,2
НСР ₀₅	0,22	22,9	12,0		1,55
20-40					
0*	1,29	97	72	74	5,3
1	1,16	65	31	48	10,4
2	1,20	97	50	51	11,6
3	1,33	189	107	57	12,2
4	1,33	194	117	60	12,2
5	1,33	196	120	61	11,6
НСР ₀₅	0,13	16,3	9,8		1,23

Примечание. 0* - Перед закладкой опыта, 1990 г.

Применение калийных удобрений из расчёта 77–96 кг д.в./га на фоне азотных и фосфорных вызвало снижение содержания валового калия в пахотном слое почвы в среднем на 0,12 мг/кг почвы и повышение содержания легкогидролизующего и подвижного калия как в сравнении с исходными данными, так и в сравнении с контролем, соответственно на 47–64 и 31–47 мг/кг почвы. В подпахотном слое почвы и в слоях почвы до 1 м глубиной тенденция изменения содержания валового и подвижных форм калия аналогичны, что и в пахотном слое. В слое 20–40 см при применении минимальной дозы калийного удобрения содержание легкогидролизующего калия не изменилось, а подвижного снизилось на 22 мг/кг почвы по сравнению с исходной и увеличилось на 61 % по сравнению с контролем. Степень подвижности калия в пахотном и подпахотном слоях почвы возросла соответственно в 1,4–2,1 и 1,9 – 2,3 раза, а в слоях почвы 40–100 см этот показатель снизился до 35 %. Следует отметить, что увеличение подвижных форм калия при внесении удобрений в подпахотном слое почвы, очевидно, связано с его высокой мобильностью, вымыванием из пахотного слоя почвы при промывном водном режиме.

Сравнивая изменения агрохимических показателей почвы 1990 и 2018 годов исследования, следует отметить, что в слое 0–20 см в среднем за 28 лет в не удобряемой почве (контроль) содержание подвижного фосфора снизилось в 2,1 раза (на 32 мг/кг почвы) (табл. 5.5).

При этом скорость падения составила 5 мг/кг/год, плодородие при этом снизилось на 2 группы (перешла из группы почв с очень высоким содержанием фосфора в группу с повышенным содержанием элемента).

Таблица 5.5 – Расход удобрений на увеличение содержания P_2O_5 на 10 мг/кг в слое 0-20 см почвы при различной удобренности вариантов в 1991-2018 г.г. (за 28 опытных лет)

Вариант	Содержание подвижного P_2O_5 в почве, мг/кг	Внесено элемента, кг д.в./га	Внесено элемента, кг д.в./га	Внесено сверх выноса (+) или вынос сверх внесенного (-), кг/га д.в.	Увеличение (+) или уменьшение (-) содержания, мг/кг почвы	Скорость изменения содержания P_2O_5 в почве, мг/кг/год	Затраты P_2O_5 на изменение его содержания на 10 мг/кг почвы, кг/га д.в.
0*	266						
1	126	0	532	- 532	- 140	- 5,0	38**
2	234	552	728	- 176	- 32	- 1,1	55**
3	274	1030	896	+ 134	+ 8	+ 0,3	168
4	260	930	952	- 22	- 6	- 0,2	37**
5	276	1160	980	+ 180	+ 10	+0,4	180

Примечание: * - содержание элемента в 1990г.;

** - количество фосфора, вынесенного из почвы уменьшающего его содержание на 10 мг/кг.

При внесении доз фосфорных удобрений даже на уровне 20 кг д.в. ежегодно скорость снижения содержания подвижных фосфатов уменьшилась в 4,5 раза и содержание этого элемента осталось на высоком уровне. Если же дозу фосфорных удобрений увеличить до 33 кг д.в./га, то скорость изменения содержания подвижных фосфатов снижается в 25 раз, т.е. почвенное плодородие по подвижному фосфору остаётся на том же уровне. При внесении удобрений в дозе 37 и 41 кг д.в./га/год (3 и 5 вар.) наблюдалось незначительное увеличение этого элемента в пахотном слое почвы, на 8 – 10 мг/кг почвы, со скоростью 0,3 – 0,4 мг/кг /год. Затраты P_2O_5 для увеличения его содержания на 10 мг/кг почвы при этом составили 168 – 180 кг д.в./га удобрений (табл. 5.5).

Возделывание культур севооборота без удобрений в течение 28 лет привело к снижению содержания калия в 2,2 раза в пахотном слое почвы. Содержание подвижного калия в пахотном слое почвы без удобрений снижается на 2,2 мг/кг/год, плодородие при аналогичных условиях эксплуатации пахотных земель может снизиться на 1 группу через 23 года. Применение минимальных доз калийных удобрений привело к уменьшению скорости снижения калия в пахотном слое почвы, содержание подвижного калия уменьшилось в 1,6 раза от исходного.

Скорость снижается при дефиците калийных удобрений в 1,4 раза. Т.е. при внесении минимальных доз калийных удобрений снижение почвенного плодородия может наблюдаться через 31 год. Вынос сверх внесённого на снижение подвижного калия на 10 мг/кг почвы составил 266 – 369 кг/га (табл. 5.6).

Таблица 5.6 – Вынос K_2O сверх внесённого на снижение его на 10 мг/кг в слое 0-20 см почвы при применении различных доз удобрений в 1991-2018 гг.

Вариант	Содержание подвижного K_2O в почве, мг/кг	Внесено элемента, кг д.в./га	Вынесено элемента, кг д.в./га	Вынесено сверх выноса (+) или вынос сверх внесённого (-), кг/га д.в.	Увеличение (+) или уменьшение (-) содержания K_2O , мг/кг почвы	Скорость изменения содержания K_2O в почве, мг/кг/год	Вынос K_2O сверх внесённого на снижение его содержания на 10 мг/кг почвы, кг/га д.в.
0*	114						
1	53	0	1624	- 1624	- 61	- 2,18	266
2	70	728	2352	- 1624	- 44	- 1,57	369
3	157	2156	3024	- 868	+ 43	+ 1,54	
4	161	2576	3276	- 700	+ 47	+ 1,68	
5	145	2688	3472	- 784	+ 31	+ 1,11	

Примечание: * - содержание элемента в 1990г.;

Даже при планировании и получении фактически отрицательного баланса по калию (3 – 5 вар.) (Кб равен 127 - 140%) при внесении калийных удобрений в дозе 77 - 96 кг д.в./га /год наблюдается повышение содержания элемента по сравнению с исходным показателем на 31 - 47 мг/кг почвы, скорость накопления элемента составила от 1,1 до 1,7 мг/кг/год, на 1 группу (табл. 5.6).

Очевидно, что калий более мобилен по сравнению с фосфором, способен переходить из других форм почвы в подвижные и усваиваться растениями не только из пахотного и подпахотного, но и более глубоких слоёв почвы. Поэтому на среднекультуренной среднесуглинистой дерново-подзолистой почве для сохранения содержания подвижных форм фосфора и калия на бездефицитном уровне рекомендуется ежегодно вносить фосфорные и калийные удобрения соответственно в дозах 37 - 41 и 77 – 96 кг д.в./га при дифференцированном внесении под культуры севооборота азотных удобрений в дозе 76 – 95 кг д.в.

ГЛАВА 6 ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА АГРОНОМИЧЕСКУЮ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ И ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕВООБОРОТА

В среднем за 28 лет исследований оплата продуктивности севооборота снижалась с увеличением вносимых доз удобрений. Так, при внесении в среднем за севооборот 70 кг д.в./га/год оплата 1 кг д.в. НРК равнялась 14,3 кг К.Е.

При увеличении вносимых доз удобрений до 190, 218, 232 кг д.в./га/год окупаемость снижалась, соответственно на 4,28 кг К.Е., 4,19 и 3,98 кг К.Е. (рис. 6.1).

Агрономическая эффективность культур севооборота оказалась высокой, превысив нормативное значение на отдельных культурах в 2 раза.

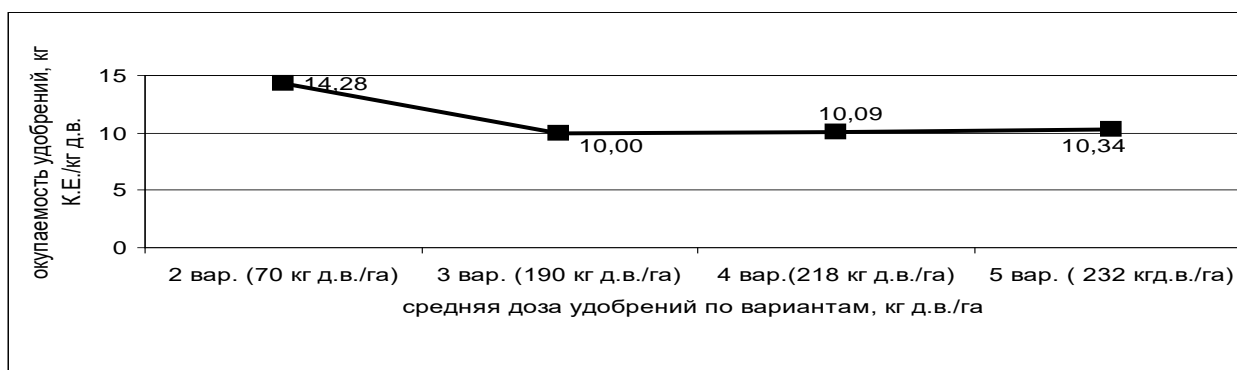


Рисунок 6.1 – Окупаемость 1 кг д.в. NPK прибавками продуктивности севооборота при применении различных доз удобрений, кг К.Е.

Коэффициент энергоотдачи от удобрений оказался высоким на всех изучаемых вариантах и культурах (табл. 6.1).

Таблица 6.1 – Коэффициент энергоотдачи (КПД) применения удобрений в севообороте по культурам, в среднем за 28 лет исследований, ед.

Вариант	Культура				Средний по севообороту
	Однолетние травы	Озимая рожь	Картофель	Ячмень	
2	0,98	4,58	3,72	4,66	3,48
3	0,94	2,97	2,91	3,39	2,55
4	0,81	2,88	2,66	3,42	2,44
5	1,17	3,09	4,51	6,52	3,82

Следует отметить, что органические удобрения, вносимые на 3 и 4 вар. в 1995 – 2002 годы были учтены на всех вариантах и культурах. На однолетних травах, озимой ржи, картофеле и ячмене с повышением доз вносимых удобрений с минимальных (2 вар.) до расчётных (3–4 вар.) энергетический КПД снижался.

При применении органоминеральной системы удобрения культур, энергетический КПД удобрений увеличился на 0,19 ед. на однолетних травах, на 0,99 ед. на картофеле и на 1,86 ед. на ячмене по сравнению со 2 вариантам. Средний показатель опытов агрохимической службы был превышен, особенно на ячмене - в 2 раза. Поэтому и в среднем по севообороту получился высокий энергетический КПД удобрений – 2,24–3,82 ед.

Так как ФОСАГРО в последние годы предоставляет скидки на удобрения сельскохозяйственным предприятиям Вологодской области, то некоторые предприятия области оформляют субсидирование, что было учтено при расчётах. При учёте субсидирования удобрений выявлено, что производственные затраты на высоко удобряемых вариантах (4–5 вар.) снижаются в среднем на 8,3–9,0 тыс. руб., следовательно, снижается себестоимость продукции на удобряемых вариантах на 1,4–1,6 тыс. руб., возрастает условная прибыль с 1 га севооборота на 8,3–9,0 тыс. руб. И, как и следовало ожидать, рентабельность производства продукции севооборота возросла на удобряемых вариантах - на 9 % при применении минимальных доз удобрений $N_{24}P_{20}K_{26}$, на 23 – 20% – при применении $N_{7-95} P_{37-41} K_{77-96}$ (рис. 6.2).

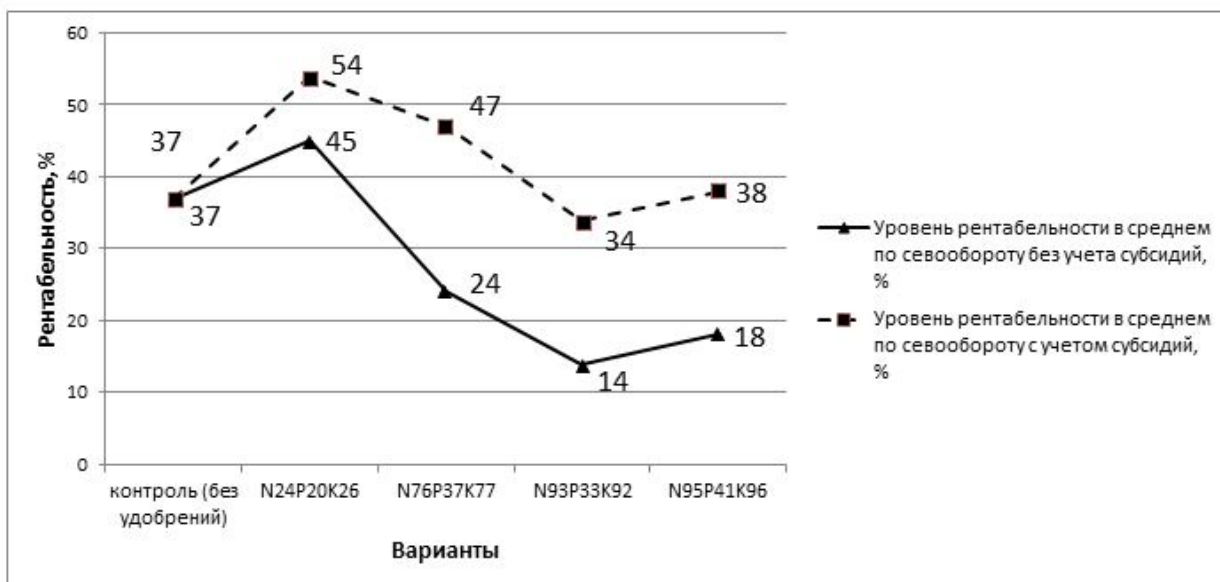


Рисунок 6.2 – Рентабельность производства кормовых единиц в среднем по севообороту без учёта субсидирования и с его учётом

Окупаемость удобрений при внесении N₂₄P₂₀K₂₆ при учёте субсидий возросла на 0,86 руб./руб. затрат, а при N₇₆₋₉₅ P₃₇₋₄₁ K₇₇₋₉₆ – на 0,64–0,39 руб./руб.

ГЛАВА 7 МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОДУКТИВНОСТИ КУЛЬТУР СЕВОБОРОТА ОТ ДОЗ УДОБРЕНИЙ И СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ФОСФОРА И КАЛИЯ В ПОЧВЕ

В соответствии с полученными результатами статистической обработки, модель регрессии, описывающая зависимость продуктивности севооборота (Y, т К.Е./га) от содержания подвижного фосфора (X₁, мг/кг почвы) и подвижного калия (X₂, мг/кг почвы), имеет следующий вид:

$$\hat{y} = -9,1514 + 0,1181 \cdot x_1 - 0,0003 \cdot x_1^2 + 0,0265 \cdot x_2, \quad (1)$$

и показывает, что при увеличении содержания подвижного фосфора в почве на 1 мг/кг почвы продуктивность севооборота будет увеличиваться в среднем на 0,1181 т К.Е./га с незначительным замедлением с каждой единичной дозой на величину 0,0003 т К.Е./га, а в случае подвижного калия – будет относительно равномерно возрастать в среднем на 0,0265 т К.Е./га.

ГЛАВА 8 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Содержание токсичных элементов в зелёной массе викоовсяной смеси, зерне ярового ячменя, озимой ржи за весь период исследований не превышало предельно допустимые концентрации тяжелых металлов для этого вида растительного сырья, как на абсолютном контроле, так и при применении минеральных и органоминеральной системы удобрения.

В клубнях картофеля больше накапливался при удобрении культуры марганец - на 7,1 мг/кг. Меньше накапливались свинец, медь и цинк в зерне озимой ржи, а марганец – в зерне ячменя. Содержание токсичных элементов и мышьяка в пахотном слое почвы без удобрений (контроль) было несколько

ниже, чем при их применении. При внесении удобрений тяжелые металлы и мышьяк накапливались в незначительных количествах и их содержание не превышало НД за весь период исследований (табл. 8.1).

Следует отметить, что применение удобрений за исследуемый период не вызвало значительных изменений в содержании тяжелых металлов и мышьяка в пахотном слое опытного участка.

Таблица 8.1 – Содержание токсичных элементов в пахотном слое почвы опытного участка, в среднем за 2016- 2018 годы, мг/кг

Варианты	Ртуть	Кадмий	Мышьяк	Свинец	Медь	Цинк	Марганец
0*	0,02	0,53	1,61	11	7	35	542
1.Контроль (без удобрений)	менее 0,02	0,36	1,63	7	5	21	247
2. – 5.	менее 0,02	0,38	1,55	8	5	23	258
НСР ₀₅	-	-	0,05	-	-	3	11

Примечание. 0* - перед закладкой опыта, 1990 г.

Тем не менее, содержание марганца выросло на 4% по сравнению с контролем. По сравнению с исходными данными, перед закладкой опыта в 1990 году, содержание Cd, Pb, Cu, Zn, Mn было выше, чем в 2018 году, соответственно в 1,5, 1,6, 1,4, 1,7 и 2,2 раза. Объясняется это высокими дозами органических удобрений, вносимых на участке перед закладкой опыта.

В проведённых исследованиях установлено, что в результате рациональной научно-обоснованной системы использования опытного участка, негативного воздействия различных систем удобрения на агроэкосистему не выявлено.

ГЛАВА 9 АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В ПЕРЕДОВЫХ ХОЗЯЙСТВАХ ВОЛОГОДСКОГО РАЙОНА

Сельскохозяйственное производство Вологодской области специализируется на молочно–мясном животноводстве, в связи с этим, в структуре посевных площадей преобладают: кормовые культуры, зерновые и зернобобовые культуры на фуражные цели.

В Вологодском районе насчитывается 116,6 тыс. га сельхозугодий, из них 84,6 тыс. га составляет пашня.

Анализ применения удобрений и изменения почвенного плодородия передовых хозяйств Вологодского района с 1993 до 2015 года, т.е. за 25 лет показал, что в структуре посевных площадей рассматриваемых хозяйств преобладали многолетние и однолетние бобово-злаковые травы - 37 – 65% и зерновые культуры – 35 – 62 %. Основной зерновой культурой является яровой ячмень. Самая высокая продуктивность сельскохозяйственных культур в среднем за 25 лет отмечена в колхозе ПЗ Родина – 2,9 т К.Е./га, в СХПК Племязвод Майский - 2,6 т К.Е./га, в котором возделываются картофель и овощные культуры на 5% от всей площади (табл. 9.1).

Таблица 9.1 – Урожайность основных сельскохозяйственных культур и доза удобрений в передовых хозяйствах Вологодского района, в среднем за 1993 – 2018 гг.

Сельско-хозяйственное предприятие	Урожайность, т/га					Продуктивность, т К.Е./га	Доза NPK, кг д.в./га
	Зерновые	Многолетние травы (сено)	Однолетние травы	Картофель	Овощи		
СХПК Племзавод Майский	2,7	3,9	14,8	22,4	32,3	2,6	216
ОАО Заря	1,9	3,1	11,8	-	-	1,9	100
СПК Агрофирма Красная звезда	2,4	3,9	15,3	-	-	2,5	141
Колхоз Племзавод Родина	3,2	4,0	13,8	-	-	2,9	214
СХПК колхоз Новленский	2,6	2,7	18,2	-	-	2,2	184
СХПК колхоз Передовой	1,7	2,5	12,0	-	-	1,7	139
СХПК Присухонское	2,2	2,8	17,9	-	-	2,2	209

Колхоз Племзавод Родина обеспечил высокую продуктивность возделываемых культур за счёт высокой урожайности многолетних трав и зерновых культур. Высокая продуктивность получена в СПК Агрофирме Красная звезда – за счёт высокой урожайности сена многолетних трав.

Установлено, что в СХПК Присухонское и в СХПК ПЗ Майский, колхозе ПЗ Родина насыщенность органическими удобрениями соответствовала рекомендуемым, а в других рассматриваемых хозяйствах была ниже на 20 – 30 % (Новленский, Красная звезда, Передовой) и более чем в 2 раза (ОАО Заря). Обеспеченность минеральными удобрениями хозяйств была различной и варьировала от 55 до 104 кг д.в./га. В среднем по рассматриваемым хозяйствам составила 88 кг д.в./га.

Учитывая потери минерального N в 20–40 % в результате вымывания и улетучивания, высокую продуктивность сельскохозяйственных культур в передовых предприятиях Вологодского района можно получить при планировании дозы азотных удобрений с возмещением азота 80–120%, если доля бобово-злаковых культур в структуре посевных площадей 38–65 %.

Учитывая потребность сельскохозяйственных культур к обеспеченности почв подвижным фосфором, оптимальной для возделывания зерновых, однолетних и многолетних бобово-злаковых трав считается 3-я группа, для картофеля и льна – 4-я группа, для овощных – 5-я группа. Фактически содержание подвижных форм P₂O₅ в пахотном слое почвы во всех рассматриваемых хозяйствах соответствует 4-й, 5-й группе, поэтому дозы фосфора с удобрениями должны быть на 10 – 30 % ниже полной компенсации хозяйственного выноса его с урожаем, при низком содержании элемента в почве нормативы возмещения могут быть выше 100%. Т.е. при расчёте доз удобрений необходимо

планировать близкий к нулевому и отрицательный баланс элемента, возмещение выноса может составлять 70–110 %.

Для большинства культур анализируемых хозяйств по подвижному K_2O оптимальными являются почвы 3 группы. Рекомендуемый баланс калия на данных почвах – нулевой (возмещение – 100 %). На почвах с повышенным и высоким содержанием K_2O внесение средней дозы удобрения не вызовет значительного снижения элемента в почве, поэтому рекомендуется планировать возмещение на 60 %. На почвах с содержанием элемента ниже среднего возмещение может быть выше 100%.

Для увеличения содержания подвижного P_2O_5 на 10 мг/кг почвы в ряде хозяйств на легко- и средне- суглинистых дерново-подзолистых почвах 4-й и 5-й группы обеспеченности элементом при продуктивности 2,9–2,2 т К.Е./га расходуется 417 –36 кг/га P_2O_5 удобрений при скорости его повышения 0,5 - 1,1 мг/кг/год. При увеличении доз вносимых фосфорных удобрений расход элемента удобрений на увеличение его содержания на 10 мг/кг почвы увеличивается. За период 1993–2018 годы в 6-ти хозяйствах из 7-ми при различных фактических балансах калия, содержание подвижного K_2O снизилось на 9 – 66 мг/кг почвы, поэтому затраты и темпы снижения содержания подвижных форм элемента в исследуемых хозяйствах сильно различались. В среднем за 25 лет анализа в ряде хозяйств Вологодского района (ОАО Заря, СПК Агрофирма Красная звезда, СХПК колхоз Новленский) на легко- и средне- суглинистых дерново-подзолистых почвах 3-й и 4-й группы обеспеченности элементом при продуктивности культур в хозяйствах в 2,5 - 1,9 т К.Е./га для снижения его содержание на 10 мг/кг почвы вынос K_2O сверх внесённого составляет 555 - 26 кг д.в./га, темпы снижения – 0,4 - 1,7 мг/кг/год (табл. 9.2).

Таблица 9.2 – Расход P_2O_5 удобрений на накопление его содержания в почве на 10 мг/кг

С - х. предприятие	Изменение содержания P_2O_5 за 25 лет, «+», «-», мг/кг	Внесено с удобрениями за 25 лет, кг д.в./га	Вынос культурами за 25 лет, кг/га	Внесено сверх выноса, кг д.в./га	Скорость уменьшения «-», увеличения «+», мг/кг/год	Затраты удобрений для увеличения содержания P_2O_5 на 10 мг/кг, кг д.в./га
СХПК Племазавод Майский *	+27	1150	675	475	1,1	176
ОАО Заря**	+19	475	475	0	0,8	-
СПК Агрофирма Красная звезда**	+28	725	625	100	1,1	36
Колхоз Племазавод Родина*	+12	1225	725	500	0,5	417
СХПК колхоз Новленский*	+21	700	550	150	0,8	71
СХПК колхоз Передовой*	-11	600	425	175	-0,4	-
СХПК Присухонское	-30	900	575	325	-1,2	-

Примечание.* легкосуглинистые почвы; ** среднесуглинистые почвы

На торфяных почвах (Присухонское) для увеличения содержания подвижного калия на 10 мг/кг почвы расходуется 107 кг д.в./га удобрений. С уменьшением вносимых доз калийных удобрений увеличивается вынос элемента сверх внесённого, уменьшающий его содержания на 10 мг/кг почвы (табл. 9.3).

Таблица 9.3 – Вынос K_2O сверх внесённого, снижающий его содержание в почве на 10 мг/кг

С. – х. предприятие	Изменение содержания K_2O за 25 лет, «+», «-», «>», «<», мг/кг	Внесено с удобрениями за 25 лет, кг д.в./га	Вынос культурами за 25 лет, кг/га	Вынос сверх внесённого, кг д.в./га	Скорость уменьшения «<», увеличения «>», мг/кг/год	Вынос K_2O сверх внесённого для снижения содержания его на 10 мг/кг почвы, кг д.в./га
СХПК Племязавод Майский *	-66	2125	1950	+175***	2,6	-
ОАО Заря**	-9	825	1325	500	0,4	555
СПК Агрофирма Красная звезда**	-42	1250	1675	425	1,7	101
Колхоз Племязавод Родина*	-55	1975	1975	0	2,2	-
СХПК колхоз Новленский*	-19	1600	1650	50	0,8	26
СХПК колхоз Передовой*	-22	1525	1225	+300***	0,9	-
СХПК Присухонское	+56	2100	1500	+600***	+2,2	107****

Примечание.* легкоуглинистые почвы; ** среднесуглинистые почвы

*** внесено сверх выноса; **** затраты K_2O на накопление элемента в почве

В ряде хозяйств с учётом планового уровня возмещения элементов питания, который для большинства хозяйств составил 0,9 - 1,1 по азоту, 0,7 – 0,9 – по фосфору и 0,8 - 1,0 по калию рассчитывались плановая урожайность и продуктивность.

Наиболее полно плановая и фактическая урожайность соответствовала в СПК Агрофирма Красная звезда. Следовательно, показатели этого хозяйства по оплате 1 кг удобрений прибавкой продуктивности 5,25 кг К.Е., по затратам 1 кг д.в. удобрений на 1 т К.Е. – 56 кг д.в., можно взять за нормативную для с. – х. предприятий Северо–Запада России при структуре посевных площадей: зерновые - 62 %, многолетние и однолетние травы – 38 % с уровнем почвенного плодородия - выше среднего.

Агрономическая эффективность удобрений варьировала от 3,1 до 5,5 кг К.Е./кг д. в., и, зависела от доз удобрений, баланса и соответствия фактической продуктивности её плановому (возможному) уровню.

ВЫВОДЫ

1. В среднем за 28 лет исследований на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с высоким содержанием подвижного P_2O_5 и средним - подвижного K_2O в опыте за 7 ротаций севооборота средняя урожайность культур на вариантах с удобрениями превысила контрольный вариант на 33–45 %. Урожайность зелёной массы однолетних трав составила 24–26 т/га, зерна озимой ржи – 3,3–3,6 т/га, клубней картофеля – 21–24 т/га, зерна ячменя – 3,2–3,6 т/га.

Вариабельность урожайности по годам однолетних трав, озимой ржи, картофеля и ячменя в удобренных вариантах составила соответственно 17%, 43, 19 и 37%.

2. Продуктивность севооборота при внесении различных доз удобрений варьировала от 5,3 до 5,8 т К.Е./га, обеспечив запланированный уровень. Доля участия удобрений в формировании продуктивности севооборота составила 40 %. На другие факторы, к которым относятся видовые, генетические особенности культур, сортов, агротехника, погодные условия пришлось 60% урожайности.

3. Удобрения повышали содержание «сырого» белка в зелёной массе однолетних трав, зерна озимой ржи, ячменя с 12,0 до 13,2%; с 11,2 до 12,4%; 13,5 до 14,9% соответственно, а сбор белка увеличивали в 1,3–1,9 раза. Натуральный вес зерна озимой ржи несущественно изменялся в зависимости от доз удобрений, составляя 694–706 г. Число падения озимой ржи за 12 лет исследований соответствовало 3-му классу при минеральных системах (134 с) и 2-му классу при органо-минеральной системе (140 с).

Содержание крахмала в клубнях картофеля уменьшалось с возрастанием доз азотных удобрений с 13,1 до 12,7%, а сбор крахмала с урожаем при этом увеличивался в 1,6 раза.

Содержание нитратов в зелёной массе и клубнях картофеля составляло соответственно 198–209 и 136–155 мг/кг натурального веса, что менее 84 и 62 % от ПДК.

4. В среднем за 1991–2018 годы исследований вынос N , P_2O_5 , K_2O единицей продукции с соответствующим количеством побочной повышался у всех изучаемых культур.

Вынос азота 1 тонной продукции однолетних трав составил 3,6 кг, озимой ржи – 30, картофеля – 5,6 и ячменя – 30 кг; фосфора соответственно – 1,3 кг, 9,4, 1,7 и 9,3 кг; калия – 4,6 кг, 23, 8,5 и 23 кг. Вынос азота ячменем превышал нормативные данные на 3 кг, а вынос фосфора и калия оказался несколько ниже.

5. За 28 лет исследований в пахотном слое почвы на дерново-подзолистой почве без удобрений снижалась обеспеченность подвижными формами P_2O_5 и K_2O соответственно на 140 и 61 мг/кг почвы, а степень подвижности увеличилась в 5,8 и в 1,4 раз. В подпахотном горизонте отмечалась та же тенденция. В слое 40–100 см наблюдалось накопление подвижных

форм фосфора. Содержание подвижного калия снижалось в слоях 40-80 см, а в слое 80-100 см наблюдалось его накопление.

6. В пахотном слое дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы в среднем за 28 лет исследований для повышения P_2O_5 на 10 мг/кг затрачивалось 168-180 кг д.в./га удобрений при минеральной и органо-минеральной системах. При отрицательном балансе фосфора наблюдалось снижение его содержания в почве. Превышение выноса P_2O_5 над его поступлением в почву на 37-55 кг д.в./га снижало P_2O_5 на 10 мг/кг. При превышении выноса K_2O над его внесением в почву на 266-369 кг/га снижалось содержание K_2O на 10 мг/кг почвы.

7. Через 28 лет исследований содержание гумуса в пахотном слое почвы в вариантах без удобрений снизилось на 0,72%, применение минеральных систем удобрений уменьшило скорость снижения содержания гумуса в 1,1 раза, при органо-минеральной системе содержание гумуса уменьшилось на 0,5%. Содержание общего азота изменялось аналогично гумусу. Уменьшение на варианте без удобрений составило 0,05 %, при применении удобрений – 0,03 – 0,01%.

В подпахотном слое почвы содержание гумуса и общего азота изменялось аналогично.

8. За 28 лет исследований в пахотном слое опытного участка возросла гидролитическая кислотность почвы на 1,1 ммоль/100 г почвы без применения удобрений и на 0,94-5,58 ммоль/100 г почвы при применении различных систем удобрений. Сумма поглощенных оснований уменьшилась на 1,8 ммоль/100 г почвы в варианте без удобрений, и возросла на 0,9-1,6 ммоль/100 г почвы. Аналогичная тенденция, но в меньшей степени, наблюдалась и в подпахотном слое.

9. В соответствии результатами статистической обработки разработана модель регрессии, описывающая зависимость продуктивности севооборота от уровней содержания подвижных форм фосфора и калия.

10. За 28 лет исследований оплата продуктивности севооборота снижалась с увеличением доз удобрений. При внесении в среднем за севооборот 70 кг д.в./га/год оплата 1 кг д.в. НРК составила 14,3 кг К.Е. При увеличении доз до 190, 218, 232 кг д.в./га/год окупаемость снижалась, соответственно на 4,3 кг К.Е., 4,2 и 4,0 кг К.Е.

11. Применение органо-минеральной системы удобрения на всех изученных культурах повышало энергетический КПД удобрений, соответственно, на однолетних травах – на 0,36 ед., озимой ржи на 0,21, картофеле – 1,85 ед. и на ячмене – на 3,1 ед. по сравнению с минеральной.

В среднем по севообороту совместное систематическое внесение минеральных и органических удобрений в дозе 232 кг д.в./га увеличило энергетический КПД по сравнению с другими дозами с 2,44–3,48 до 3,82 ед.

12. В среднем по севообороту применение удобрений без учёта субсидий рентабельность производства кормовых единиц составила 14–45 %, с

учётом субсидий возросла до 34 – 54 %. Органо-минеральная система удобрения превысила минеральную по рентабельности на 4 %.

Окупаемость удобрений при внесении $N_{24} P_{20} K_{26}$ при учёте субсидий возросла на 0,86 руб./1 руб. затрат, а при дозах $N_{76-95} P_{37-41} K_{77-96}$ - на 0,64 – 0,39 руб./руб.

13. Содержание Cd, Pb, Cu, Zn, Mn в 2018 году было выше соответственно в 1,5, 1,6, 1,4, 1,7 и 2,2 раза по сравнению с исходными данными, перед закладкой опыта в 1990 году. Содержание токсичных элементов и мышьяка в пахотном слое почвы в варианте без удобрений было несколько ниже, чем при их применении. При внесении удобрений тяжелые металлы и мышьяк накапливались в растениях, в незначительных количествах и их содержание не превышало НД за весь период исследований и не могло отрицательно отразиться на агроэкосистему.

14. Результаты, полученные в передовых хозяйствах Вологодского района, соответствуют экспериментальным данным длительного опыта:

- на почвах с повышенным и высоким содержанием подвижного фосфора, повышенным и средним - подвижного калия продуктивность культур возрастала с увеличением доз вносимых удобрений с 48 до 85-92 кг д.в./га на 0,3-1,0 т/га, с 1,9 до 2,2-2,9 т К.Е./га.

В большинстве анализируемых хозяйств за 25 лет исследований обнаруживается тесная связь между изменением подвижных форм P_2O_5 и фактическим балансом элемента ($R^2 = 0,61$), что позволило представить расход элемента, вызвавшего увеличение содержания P_2O_5 на 10 мг/кг в пахотном слое почвы.

На дерново-подзолистых легко- и среднесуглинистых почвах для повышения содержания подвижного P_2O_5 на 10 мг/кг необходимо внести сверх выноса урожай от 45 до 479 кг д. в./га. Скорость увеличения P_2O_5 составила 0,5-1,1 мг/кг /год. Для повышения содержания подвижного K_2O на 10 мг/кг в пахотном слое почвы расход калийных удобрений составил 76 кг д.в./га. Скорость увеличения K_2O составила 2,2 мг/кг/год.

Оплата 1 кг д.в. удобрений в среднем по хозяйствам составила 4,15 кг К.Е./кг д.в. Между окупаемостью удобрений прибавкой урожая и их дозами установлена тесная связь, которая характеризовалась индексами детерминации 0,63 – 0,66.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

На Европейском севере России на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах, для получения 24-26 т/га зелёной массы однолетних трав, 3,3-3,6 т/га зерна озимой ржи, 3,2-3,6 т/га ячменя и 21-24 т/га клубней картофеля в зависимости от уровня плодородия почв, разрабатывать систему удобрения можно с использованием нормативов возмещения выноса питательных веществ запланированным урожаем по азоту - 80 – 120%; по фосфору - 70 – 110

%; по калию – 60 – 100%, не нарушая, в целом, экологического равновесия в окружающей среде.

Для расчётов доз удобрений вынос N, P₂O₅, K₂O 1 т основной продукции с соответствующим количеством побочной продукции может составлять соответственно: для зелёной массы однолетних трав – 3,6, 1,3 и 4,6 кг д.в., озимой ржи – 30, 9,4 и 23 кг д.в., картофеля – 5,5, 1,7 и 8,5 кг д.в. и ячменя – 30, 9,3 и 23 кг д.в.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИОННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Список научных работ, опубликованных в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Жуков, Ю.П. Продуктивность горохо-овсяной смеси и озимой ржи при применении расчетных доз удобрений в Вологодской области/ Ю.П. Жуков, Ю.Г. Дубов, Г.Б. Кириллова, В.Н. Хомякова, **О.В. Чухина**// Агрехимия. – 1998. – № 12. – С. 40–44.

2. Жуков, Ю.П. Внесение компостов при возделывании яровой пшеницы / Ю.П. Жуков, **О.В. Чухина**, И.А. Бурова, Н.М. Соболева //Плодородие. – 2007. - №2 935). – С. 6-7.

3. **Чухина, О.В.** Удобрения и качество зелёной массы викоовсяной смеси / О.В. Чухина, Е.И. Куликова, Н.В. Токарева, К.А. Усова // Кормопроизводство. – 2011. – № 8. – С. 6-8.

4. Жуков, Ю.П. Эффективность применения удобрений под озимую рожь в условиях Вологодской области / Ю.П. Жуков, **О.В. Чухина**, Е.И. Куликова, К.А. Усова, Н.В. Токарева // Плодородие. – 2011. – № 6 (63). – С. 7-9.

5. **Чухина, О.В.** Продуктивность ячменя при применении различных доз удобрений в условиях Вологодской области / О.В. Чухина, Е.И. Куликова, Ю.П. Жуков // Плодородие. – 2012. – № 4 (67). – С. 25-28.

6. **Чухина, О.В.** Продуктивность картофеля при минимальной и расчётных дозах удобрений в Вологодской области / О.В. Чухина, Ю.П. Жуков // Плодородие. – 2012. – №. 5. – С. 11–13.

7. **Чухина, О.В.** Влияние удобрений на питательную ценность ячменя ярового на дерново – подзолистой почве / О.В. Чухина, К.А. Усова, Ю.П. Жуков // Плодородие. - 2013. - №. 3. - С. 9–11.

8. **Чухина, О.В.** Влияние минимальной дозы и расчётных систем удобрения на продуктивность культур в севообороте / О.В. Чухина // Вестник Северного (Арктического) Федерального Университета. Серия: Естественные науки. - 2013. - №. 3. - С. 109-118.

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

10. Жуков, Ю.П. Продуктивность ячменя при комплексном применении

удобрений и гербицида Секатор Турбо / Ю.П. Жуков, **О.В. Чухина** // Агрохимический вестник. – 2013. – № 2. – С. 35-38.

11. Жуков, Ю.П. Определение максимально допустимой дозы удобрений, прогноз изменения содержания подвижных форм фосфора и калия в почве по результатам баланса / Ю.П. Жуков, **О.В. Чухина** // Плодородие. - 2013. - №. 4. - С. 19-21.

12. **Чухина, О.В.** Плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность культур в севообороте при применении различных доз удобрений / О.В. Чухина, Ю.П. Жуков // Агрохимия. – 2013. – № 11. С.10-18.

13. **Чухина, О.В.** Влияние удобрений на питательную ценность викоовсяной смеси / О.В. Чухина, Н.В. Токарева // Кормопроизводство. - 2013. - №. 6. - С. 9-11.

14. **Чухина, О.В.** Урожайность и качество ячменя при применении удобрений в условиях Вологодской области // Вестник Северного (Арктического) Федерального Университета. Серия: Естественные науки. - 2013. - №. 1 - С. 102-109.

15. **Чухина, О.В.** Влияние удобрений на урожайность и кормовую ценность картофеля // О.В. Чухина, К.А. Усова// Молочнохозяйственный вестник. 2013. - №2 (10) (Электронный журнал) URL: molochnoe.ru/journal. - С.17 - 24.

16. **Чухина, О.В.** Влияние удобрений на продуктивность картофеля в Вологодской области / О.В. Чухина // Вестник Северного (Арктического) Федерального Университета. Серия: Естественные науки. - 2013. - №. 2. - С. 55-60.

17. **Чухина, О.В.** Влияние различных доз удобрений на качественные показатели озимой ржи при возделывании её в севообороте / О.В. Чухина // Вестник Северного (Арктического) Федерального Университета. 2014. - №. 3. С. 101 – 108.

18. **Чухина, О.В.** Урожайность и качество клубней картофеля при применении удобрений в Вологодской области / О.В. Чухина, Ю.П. Жуков // Агрохимия. – 2014. - № 6. - С.29 – 34.

19. **Чухина, О.В.** Продуктивность культур в севообороте при применении различных доз удобрений / О.В. Чухина, Ю.П. Жуков // АГРО XXI - 2014. – № 1-3. – С. 39-41.

20. **Чухина, О.В.** Продуктивность культур и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы в севообороте при применении различных доз удобрений / О.В. Чухина, Ю.П. Жуков // Агрохимия. – 2015. – № 5. – С. 19-27.

21. Усова, К.А. Оценка энергетической эффективности возделывания картофеля с применением удобрений в условиях Вологодской области/ К.А. Усова, **О.В. Чухина** // Кормопроизводство. – 2016. - №4. – С. 22-25.

22. Силина, О.А. Продуктивность культур и балансовые коэффициенты использования элементов питания в севообороте / О.А. Силина, **О.В. Чухина**, С.Н. Дурягина, П.С. Карандеева // Плодородие. – 2017. – № 4 (97). – С. 12-15.

23. **Чухина, О.В.** Влияние удобрений на вынос элементов питания культурами севооборота в Вологодской области / О.В. Чухина // Молочнохозяйственный вестник. – 2018. – № 4 (32). (Электронный журнал) URL: molochnoe.ru/journal. – С. 46-52.

24. Токарева, Н.В. Влияние минеральных удобрений, гербицида и комплексного препарата на урожайность, качество и вынос элементов питания картофеля в Вологодской области. / Н.В. Токарева, В.В. Суров, **О.В. Чухина** // Агрохимия. – 2019. - № 5. – С. 56-65.

25. **Чухина, О.В.** Урожайность картофеля сорта Елизавета в зависимости от погодных условий и удобрений / О.В. Чухина, Т.И. Володина, И.Е. Кулакова, О.Д. Обряева, Е.Н. Кузовлев // Молочнохозяйственный вестник.. – 2019. –№ 3 (35) (Электронный журнал) URL: molochnoe.ru/journal. – С. 62-75.

26. **Чухина, О.В.** Влияние удобрений на продуктивность культур севооборота и вынос элементов питания в Вологодской области / О.В. Чухина, Р.А. Глазов, Д.Е. Смирнов, Е.Н. Кузовлев, Е.И. Куликова // Плодородие. – 2019. – № 1 (106). – С. 22-25.

27. **Чухина, О.В.** Протеиновая продуктивность культур севооборота при применении удобрений / О.В. Чухина, В.В. Ганичева, Е.А. Вепрева, А.Н. Кулиничева // Молочнохозяйственный вестник. 2019. – № 4 (36). (Электронный журнал) URL: molochnoe.ru/journal. – С. 141-154.

28. **Чухина, О.В.** Агрономическая оценка эффективности внесения различных доз удобрений под культуры севооборота / О.В. Чухина, Е.Н. Кузовлев, Р.А. Глазов, А.Н. Кулиничева // Молочнохозяйственный вестник. 2019. – № 2 (34). (Электронный журнал) URL: molochnoe.ru/journal. – С. 53-61.

29. Володина, Т.И. Потребление азота, сбор протеина культурами севооборота под влиянием минеральной и органических систем удобрений / Т.И. Володина, **О.В. Чухина**, А.И. Демидова // Молочнохозяйственный вестник. – 2019. – № 4 (36). (Электронный журнал) URL: molochnoe.ru/journal. – С. 31-45.

30. Токарева, Н.В. Вынос элементов питания сорной растительностью полевого севооборота при применении удобрений и гербицидов в Вологодской области / Н.В. Токарева, В.В. Суров, **О.В. Чухина** // Агрохимия. – 2020. - № 7. - С. 76-82.

31. Володина, Т.И. Влияние различных систем удобрения на гумусовое состояние дерново-подзолистых почв Псковской области / Т.И. Володина, **О.В. Чухина**, А.И. Демидова // Агрохимический вестник. – 2020. - № 3. - С. 19-24.

Публикации в изданиях и других журналах:

32. Хомякова, В.Н. Продуктивность ячменя при комплексном применении средств химизации /В.Н. Хомякова, **О.В. Чухина** // Актуальные проблемы производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Сборник научных трудов молодых ученых и аспирантов.- Вологда: ВГМХА, 1998. -

С.9-18.

33. **Чухина, О.В.** Продуктивность картофеля при применении различных доз удобрений / О.В. Чухина // Совершенствование технологии возделывания картофеля: сборник материалов Всероссийского семинара. – Пенза, 2000 – С. 75-78.

34. **Чухина, О.В.** Гумус и некоторые формы азота при применении различных доз удобрений / О.В. Чухина // Перспективные направления научных исследований молодых учёных Северо – Запада России // Сборник научных трудов молодых ученых и аспирантов. Вологда - Молочное: ВГМХА, 2001 – С.139-142.

35. **Чухина, О.В.** Влияние применения различных доз удобрений на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы / О.В. Чухина // Перспективные направления научных исследований молодых учёных Северо – Запада России. // Сборник научных трудов молодых ученых и аспирантов. Вологда - Молочное: ВГМХА, 2001. – С. 134-139.

36. **Чухина, О.В.** Урожайность и качество клубней картофеля при применении различных доз удобрений / О.В. Чухина, А.В. Чухин // Наука – производству. Т. 3. Биологические науки: Сборник трудов ВГМХА по результатам работы международной научно-практической конференции, посвящённой 95-летию академии. – Вологда - Молочное: ИЦ ВГМХА, 2006. – С. 124-127.

37. **Чухина, О.В.** Однолетние кормовые культуры и их продуктивность в условиях Вологодской области / О.В. Чухина, В.С. Орлова, Л.Б. Прокофьева, Г.С. Абрамова // Научное управление качеством образования. Т. 3. Биологические науки: Сборник трудов ВГМХА по результатам работы научно-практической конференции, посвящённой 96-летию академии. – Вологда – Молочное: ИЦ ВГМХА, 2007. – С. 22-27.

38. **Чухина, О.В.** Продуктивность картофеля при применении минимальных и расчётной доз удобрений/О.В. Чухина // Агрохимические технологии, приемы и способы увеличения объёмов производства высококачественной сельскохозяйственной продукции: Материалы международной 42 научной конференции (21-26 мая 2008 г.). М.: ВНИИА, 2008. – С. 104-107.

39. **Чухина, О.В.** Влияние удобрений на урожайность и качество зерна озимой ржи /О.В. Чухина, Е.И. Куликова // Агрохимические технологии, приемы и способы увеличения объёмов производства высококачественной сельскохозяйственной продукции: Материалы международной 42 научной конференции (21-26 мая 2008 г.). М.: ВНИИА, 2008. – С. 107-110.

40. Степанова, Т.А. Эффективность применения органоминеральных удобрений под картофель / Т.А. Степанова, **О.В. Чухина** // Наука - агропромышленному комплексу. Том 3. Биологические науки: Сборник трудов ВГМХА по результатам научно - практической конференции, посвящённой 98-летию академии. - Вологда – Молочное: ИЦ ВГМХА, 2009. - С. 39-41.

41. **Чухина, О.В.** Эффективность применения удобрений при возделывании озимой ржи/ О.В. Чухина, Е.И. Куликова, К.А. Усова, Н.В. Токарева // Научное обеспечение – сельскохозяйственному производству. Том 3. Биоло-

гические науки: Сборник трудов ВГМХА по результатам научно – практической конференции, посвящённой 99-летию академии. - Вологда – Молочное: ИЦ ВГМХА, 2010. – С.71-75.

42. **Чухина, О.В.** Влияние удобрений на продуктивность вико - овсяной смеси для условий Вологодской области / О.В. Чухина, К.А. Усова, Н.В. Токарева // Комплексное применение средств химизации в адаптивно – ландшафтном земледелии». Материалы 44-й международной научной конференции молодых учёных и специалистов (ВНИИА). - М.: ВНИИА, 2010. – С.338-340.

43. **Чухина, О.В.** Продуктивность ячменя при применении удобрений / О.В. Чухина, Е.И. Куликова // Комплексное применение средств химизации в адаптивно – ландшафтном земледелии». Материалы 44-й международной научной конференции молодых учёных и специалистов (ВНИИА). - М.: ВНИИА, 2010. – С. 334-337.

44. **Чухина, О.В.** Плодородие дерново-подзолистой почвы при применении различных доз удобрений в севообороте / О.В. Чухина // Современные проблемы и перспективы развития сельского хозяйства и лесного комплекса: теория и практика: Сборник трудов/ Отв. за выпуск В.В. Ганичева. – Вологда - Молочное: ИЦ ВГМХА, 2013. – С. 34-39.

45. Суков А.А. Разработка системы удобрения сельскохозяйственных культур в северной части европейской России: Учебное пособие (с грифом УМО)/А.А Суков, **О.В. Чухина**. Вологда – Молочное, ИЦ ВГМХА, 2013. – 148 с.

46. Мальцев, Э.С. Продуктивность картофеля при применении удобрений / Э.С. Мальцев, **О.В. Чухина** // Молочнохозяйственный вестник. 2013. - №2(10) (Электронный журнал) URL: molochnoe.ru/journal. - С.4-8.

47. **Чухина, О.В.** Влияние удобрений на продуктивность культур севооборота / О.В. Чухина, К.А. Усова, С.Н. Дурягина // Инновационные технологии в сельском хозяйстве и лесном комплексе: теория и практика: Сборник научных трудов/ Отв. за выпуск О.В. Чухина. – Вологда - Молочное: ВГМХА, 2014. – С. 35-41.

48. **Чухина, О.В.** Изменения содержания подвижных форм фосфора и калия при применении удобрений в дерново-подзолистой почве / О.В. Чухина, О.А. Силина, О.А. Сорокина, М.В. Киселёв // Международный сборник трудов молодых учёных. Изд-во ФГБОУ ВПО СПбГАУ, 2014. – с.250-251.

49. **Чухина, О.В.** Использование элементов питания культурами севооборота /О.В. Чухина, Е.А. Попова, Ю.А. Махова // Сборник: Инновации и перспективы развития науки, сельского хозяйства и лесного комплекса: Сборник трудов. - Вологда – Молочное: Вологодская ГМХА, 2016. – С. 3–9.

50. **Чухина, О.В.** Агроэнергетическая эффективность применения расчётных доз удобрений в севообороте Вологодской области. Монография./ О.В. Чухина, К.А. Усова. Вологда – Молочное: Вологодская ГМХА, 2016. – 96с.

51. Суков, А.А. Особенности системы удобрения сельскохозяйственных

культур на европейском севере России: учебное пособие / А.А. Суков, **О.В. Чухина**, Н.В. Токарева, А.Н. Налиухин. – Вологда – Молочное: ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, 2018. – 207 с.

52. Чухина, О.В. Вынос элементов питания культурами севооборота / О.В. Чухина, Р.А. Глазов, Д.Е. Смирнов, Е.Н. Кузовлев // Инновационные технологии в сельском хозяйстве и лесном комплексе: Сборник трудов. – Вологда – Молочное: ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, 2018. - С. 33 – 37.

53. Тарасенкова, П.С. Влияние удобрений и флавобактерина на урожайность и вынос элементов питания ячменём в условиях Вологодской области/ П.С. Тарасенкова, **О.В. Чухина**// Актуальные проблемы и механизмы развития АПК: труды Всероссийского совета молодых учёных и специалистов аграрных образовательных и научных учреждений. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – С. 7 – 11.

54. Карбасникова, Е.Б., Содержание тяжелых металлов в почве и древесной растительности в условиях городской агломерации/ Е.Б. Карбасникова, О.С. Залывская, **О.В. Чухина** // Известия высших учебных заведений «Лесной журнал», 2019. - № 5. - С. 216–223.

55. **Чухина, О.В.** Применение удобрений и расчёт доз их внесения в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур в природно-климатических условиях Вологодской области: информационно-справочное издание / О.В. Чухина, В.В. Вахрушева. – Вологда: ФГБУН ВолНЦ РАН, 2019. – 70с.

56. **Чухина, О.В.** Баланс элементов питания в севообороте длительного агрохимического опыта / О.В. Чухина // Стратегия и тактика реализации социально-экономических реформ: региональный аспект / Материалы VIII международной научно-практической конференции. - ФГБУН ВолНЦ РАН, 2019. - С. 477-481.

57. **Chukhina O.V.** Productivity of crop rotation using fertilizers and herbicides in the Vologda oblast / O.V. Chukhina, N.V. Tokareva, A.I. Demidova, T.V. Vasilieva, E.B. Karbasnikova, N.A. Shchekutieva // В сборнике: BIO Web of Conferences. International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019), 2020. - С. 00183. Режим доступа: https://www.bioconferences.org/articles/bioconf/pdf/2020/01/bioconf_fies2020_00183.pdf

58. **Chukhina O.** Influence of fertilizers on harvest yield, uptake of nutrients, and "raw" protein content in winter rye grains of Vologda region / O. Chukhina, E.Karbasnikova, O. Obriaeva // В сборнике: E3S Web of Conferences. International Conference on Efficient Production and Processing, ICEPP 2020, 2020. - С. 02004. Режим доступа: https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/21/e3-sconf_iceppPrague2020_02004.pdf

59. **Chukhina O.V.** Effect of fertilizers on the accumulation of nutrients by the green mass of the oatmeal mixture in the Vologda Oblast / & Demidova, A & Kulakova, I & Obryaeva, O & Kulakov, D / IOP Conference Series: Earth and Envi-

ronmental Science. 422. 012035. 10.1088/1755-1315/422/1/012035. doi: 10.1088/1755-1315/422/1/012035.

60. **Чухина, О.В.** Разработка технологий выращивания зерновых культур, картофеля в сельскохозяйственных предприятиях Вологодской области: Монография /О.В. Чухина, А.И. Демидова. – Вологда - Молочное: ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, 2020. – 215с.

61. **Чухина, О.В.** Продуктивность однолетних кормовых культур, озимой ржи, картофеля, ячменя и плодородие дерново-подзолистой почвы при применении удобрений в длительном опыте / О.В. Чухина // Материалы Международной научной конференции, посвящённой 90-летию ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» и 80-летию Географической сети опытов с удобрениями / Под ред. С.И. Шкуркина. - М.: ВНИИагрохимии, 2022. – С.205-218.

Заказ № —Р. Тираж 125 экз. Подписано в печать 24.03.2022 г.
ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Емельянова, 1