

На правах рукописи

Иванова Анастасия Вячеславовна

БАЛАНС СЕРЫ В СЕВООБОРОТАХ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ
СЕРОСОДЕРЖАЩИХ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ
ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

06.01.04 – агрохимия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Усть-Кинельский – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном
образовательном учреждении высшего образования
«Марийский государственный университет»

Научный руководитель: **Новоселов Сергей Иванович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой общего земледелия, растениеводства, агрохимии и защиты растений Марийского государственного университета

Официальные оппоненты: **Слюсарев Валерий Никифорович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры почвоведения Кубанского государственного аграрного университета им. И.Т. Трубилина

Андреев Николай Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры биологии, химии, технологии хранения и переработки продукции растениеводства Ульяновского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина

Ведущая организация: Марийский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого».

Защита состоится «25» сентября 2018 года в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 999.091.03 на базе ФГБОУ ВО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия» по адресу: 446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2; тел. 8-(846-63)-46-1-31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарская государственная сельскохозяйственная академия» и на сайте www.ssaa.ru

Автореферат разослан «____» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Зудилин Сергей Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Сера является одним из важнейших элементов питания растений. Она входит в состав аминокислот, белков и других органических соединений. В составе незаменимых аминокислот сера входит в клейковинные белки зерна. Сера принимает участие в белковом и липидном обменах, процессах дыхания и фотосинтеза, активирует синтез хлорофиллов. Недостаточное поступление серы в растения в течение вегетации служит причиной снижения урожая и качества продукции (Аристархов А.Н., 2007). Поэтому при разработке системы удобрения для отдельных сельскохозяйственных культур необходимо учитывать условия питания растений серой. Действие серных удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур зависит от содержания серы в почве, биологических особенностей выращиваемой культуры, погодных условий и других факторов. Почвы республики имеют низкую обеспеченность доступной для растений минеральной серой, а тем более – подвижной (Вальников И.У., 1977). Для научно-обоснованного применения серных удобрений необходимо знать обеспеченность растений доступной серой, вынос ее с урожаем, поступление в почву из различных источников, а так же отзывчивость сельскохозяйственных культур на их внесение. Изучение данных вопросов является важной научной и практической задачей. Исследований по изучению эффективности серных удобрений на дерново-подзолистых почвах проведено крайне мало, а в Республике Марий Эл за последние 40 лет они вообще не проводились. Результаты исследований по изучению эффективности использования серосодержащих удобрений представлены в данной работе.

Цель диссертационной работы – изучение баланса серы в севооборотах и выявление оптимальных доз серосодержащих удобрений, обеспечивающих увеличение урожайности и повышение качества сельскохозяйственных культур в условиях дерново-подзолистых почв Республики Марий Эл.

В связи с этим были поставлены следующие **задачи**:

1. Определить поступление серы в почву с атмосферными осадками для условий региона;
2. Рассчитать баланс серы в севооборотах с различными видами паров;
3. Изучить влияние фотохимического фактора на трансформацию доступной серы в почве;
4. Выявить влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество клубней картофеля и зеленой массы викоовсяной смеси;
5. Установить влияние серосодержащих удобрений на фотосинтетическую способность листьев и условия минерального питания растений;
6. Определить коэффициенты использования серы в зависимости от доз и форм серосодержащих удобрений;

7. Дать экономическую оценку эффективности использования серосодержащих удобрений при возделывании картофеля и викоовсяной смеси.

Научная новизна исследования. Впервые на дерново-подзолистой почве Востока Нечерноземной зоны проведены комплексные исследования по изучению эффективности применения серосодержащих минеральных удобрений. Выявлено, что применение серосодержащих удобрений способствует увеличению урожайности и повышению качества клубней картофеля и зеленой массы викоовсяной смеси. Установлено влияние видов севооборота на величину баланса серы. Для условий региона уточнены данные по поступлению серы с атмосферными осадками и коэффициенты использования серы из серосодержащих удобрений. Получены новые данные по влиянию фотохимического фактора на содержание доступной серы в почве и использованию элементарной серы в качестве серного удобрения.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные результаты исследований являются научной базой для применения серосодержащих удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур, обеспечивающих получение высоких урожаев хорошего качества и сохранение плодородия почвы в условиях региона. Использование серосодержащих удобрений обеспечивает повышение урожайности клубней картофеля и зеленой массы викоовсяной смеси соответственно на 16–23 % и 15 %, увеличение чистого дохода на 23,9–36,4 тыс. руб./га и 0,4–0,8 тыс. руб./га, снижение себестоимости и повышение рентабельности производства.

Представленный механизм фото-микробиологического образования подвижной серы из гумусовых веществ обосновывает динамику содержания доступной серы в почве. Полученные данные по микробиологическому окислению элементарной серы в почве позволяют использовать её в качестве эффективного серного удобрения.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Возделывание сельскохозяйственных культур без применения серосодержащих удобрений приводит к отрицательному балансу серы;
2. Использование серосодержащих удобрений способствует увеличению урожайности и повышению качества клубней картофеля и зеленой массы викоовсяной смеси;
3. Серосодержащие удобрения влияют на фотосинтетическую способность листьев и условия минерального питания растений;
4. Коэффициенты использования серы зависят от дозы и формы серосодержащих удобрений;
5. Использование серосодержащих удобрений при возделывании картофеля и викоовсяной смеси экономически эффективно.

Достоверность результатов исследований подтверждается большим количеством экспериментального материала, проведением полевых опытов и лабораторных анализов в соответствии с рекомендованными методиками и ГОСТами. Проверка соблюдения методик и оформления полевых опытов

ежегодно осуществлялась методической комиссией по приемке опытов при аграрно-технологическом институте Марийского государственного университета. Достоверность результатов исследований подтверждается статистической обработкой данных и публикацией их в рецензируемых научных изданиях.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства» (Йошкар-Ола, 2013–2018 гг.), на научных конференциях студентов и аспирантов МарГУ (2013–2018 гг.). Результаты исследований прошли производственную проверку в СПК СХА «Передовик» Моркинского района Республики Марий Эл.

Публикации результатов исследований. По материалам исследований опубликовано 12 научных работ, 3 из которых, относятся к работам, изданным в журналах, рецензируемых ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Личный вклад автора. Анализ изученности вопроса, разработка схемы опытов, закладка и проведение полевого и микрополевого опытов, учет урожая, математическая обработка результатов, исследование химического состава и анализ экономической эффективности.

Объем и структура диссертации. Работа изложена на 144 страницах компьютерного текста, состоит из введения, 4 глав, выводов и предложений производству, списка литературы, включающий 203 источников, в том числе 32 зарубежных, содержит 34 таблиц, 2 рисунка и 20 приложений.

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность и благодарность научному руководителю, доктору сельскохозяйственных наук, профессору Новоселову Сергею Ивановичу за всестороннюю поддержку и помощь при выполнении работы и всему коллективу кафедры общего земледелия, растениеводства, агрохимии и защиты растений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Методика исследований

Исследования проводили с 2010 по 2016 годы на кафедре общего земледелия, растениеводства, агрохимии и защиты растений Марийского государственного университета.

Опыт 1. В полевом опыте изучали баланс серы в севооборотах с различными видами паров. Объектами исследований были: озимая рожь сорта *Татьяна*, картофель сорта *Удача* и ячмень сорта *Владимир*. Исследования проводили с использованием двухфакторного полевого опыта, составленного по принципу полного факториального эксперимента. В представленной работе приводятся данные за первую ротацию севооборота 2010–2013 гг. (пар – озимая рожь – картофель – ячмень) по двум факторам.

Схема опыта № 1: 1. A_1B_1 ; 2. A_1B_2 ; 3. A_2B_1 ; 4. A_2B_2 ; 5. A_3B_1 ; 6. A_3B_2 .

Фактор А – вид севооборота: А₁ – с занятым паром; А₂ – с чистым паром; А₃ – с сидеральным паром. В занятом и сидеральном пару возделывали викоовсяную смесь. Зеленая масса сидерата составляла 9,8 т/га, сена – 3,0 т/га с содержанием азота 1,8 %, фосфора 0,9 % и калия 2,1 % (на сухое вещество).

Фактор В – минеральные удобрения: В₁ – без удобрений; В₂ – расчетные дозы удобрений на 4 т/га зерна озимой ржи (N₅₆P₃₅K₉₃), 20 т/га клубней картофеля (N₈₁ K₁₄₀) и 3 т/га ячменя (N₁₈ K₃₃). В опыте применяли минеральные удобрения, не содержащие серу (аммиачную селитру (34 % N), хлористый калий (60 % K₂O), нитроаммофоску (N₁₅P₁₅K₁₅)). Удобрения вносили согласно схеме опыта вручную под весеннюю обработку почвы. Общая площадь делянки – 75 м² (5 м × 15 м), учётная – 52 м². Агрохимические показатели почвы при закладке опыта были следующие: содержание гумуса – 1,9 %; рН_{сол.} – 6,2; подвижной серы – 7,1 мг/кг почвы, легкогидролизуемого азота – 110 мг/кг почвы, подвижных форм фосфора 345 и калия – 116 мг/кг почвы.

Опыт 2. Эффективность применения серосодержащих удобрений изучали в микрополевом опыте, который был заложен в 2013 году на агробиостанции Марийского государственного университета. Микрополевым опыт был заложен в четырехкратной повторности с систематическим размещением вариантов. В опыте изучали влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество клубней картофеля. Изучаемая культура – картофель сорта *Удача*. В представленной работе приводятся данные за 2013, 2014 и 2015 годы.

Схема опыта № 2: 1. N₉₀P₃₀K₁₂₀ (фон); 2. Фон + S₃₀ (элементарная сера); 3. Фон + S₆₀ (элементарная сера); 4. Фон + S₉₀ (элементарная сера); 5. Фон + S₃₀ (сульфат аммония); 6. Фон + S₆₀ (сульфат аммония); 7. Фон + S₉₀ (сульфат аммония).

Минеральные удобрения вносили в виде – аммиачной селитры (34 % N), хлористого калия (60 % K₂O), аммофоса (12 % N, 52 % P₂O₅), сульфата аммония (21 % N, 24 % S) и элементарной серы. Удобрения вносили согласно схеме опыта вручную и из расчета на 20 т/га клубней картофеля (N₉₀P₃₀K₁₂₀). Учетная площадь делянки составляла 7 м². Уборку картофеля проводили вручную с поделяночным взвешиванием клубней с учетной площади. Агрохимические показатели почвы при закладке опыта были следующие: содержание гумуса – 1,9 %; рН_{сол.} – 6,2, подвижной серы – 2,5 мг/кг почвы, легкогидролизуемого азота – 110 мг/кг почвы, подвижных форм фосфора 217 и калия – 163 мг/кг почвы.

Опыт 3. Эффективность применения элементарной серы на урожайность и качество викоовсяной смеси изучали в полевом опыте, который был заложен в 2014 году на опытном поле Марийского государственного университета, расположенного на территории Марийского аграрного колледжа, в трехкратной повторности с систематическим размещением делянок. Объектом изучения была вика яровая сорта

Узуновская 8 и овес яровой сорта *Аргамак*. В представленной работе приводятся данные за 2014 и 2016 годы.

Схема опыта № 3: 1. $N_0P_0K_{30}$ (фон); 2. Фон + S_{20} (элементарная сера); 3. Фон + S_{40} (элементарная сера); 4. Фон + S_{60} (элементарная сера).

Минеральные удобрения вносили в виде хлористого калия (60 % K_2O) и элементарной серы. Удобрения вносили согласно схеме опыта вручную перед посевом и с расчетной дозой на 15 т/га зеленой массы ($N_0P_0K_{30}$). Общая площадь делянки – 90 м² (6 м × 15 м), учётная – 50 м². Уборку урожая проводили в фазу цветения вики сплошным методом. Почва опытного участка дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая малогумусная на опесчаненном бескарбонатном покровном среднем суглинке. Агрохимические показатели почвы при закладке опыта были следующие: содержание гумуса – 1,9 %; $pH_{\text{сол}}$ – 6,1; подвижной серы – 7,1 мг/кг почвы, легкогидролизуемого азота – 110 мг/кг почвы, подвижных форм фосфора 350 и калия – 147 мг/кг почвы. Агротехника возделывания культур была рекомендованной для зоны. Все наблюдения, учеты и анализы проводились по общепринятым методикам и соответствующим ГОСТам. Повторность аналитических определений – 3-х кратная. Математическую обработку результатов исследований проводили по Б.А. Доспехову (1985).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Баланс серы в севооборотах с различными видами паров

В расчете баланса серы в севооборотах с различными видами паров в приходной части баланса учитывали поступления серы с атмосферными осадками и семенами, а в расходной – вынос питательных веществ с урожаем и выщелачиванием (табл. 1). При учете поступления серы с атмосферными осадками использованы данные полученные нами в годы исследований. Они отличались от данных Казанского филиала Центрального института агрохимического обслуживания сельского хозяйства, полученных 40 лет назад (Вальников И.У., 1977). В условиях Марийской АССР в осадках холодного периода серы содержалось 2,46 мг/л или 3,42 кг/га, а теплого периода соответственно 1,51 мг/л и 5,32 кг/га. В целом за год количество серы поступавшей с осадками составляло 8,74 кг/га. В исследованиях, проведенных нами в 2010–2013 гг. содержание серы в осадках было значительно ниже. В осадках холодного периода содержание серы снизилось до 1,25 мг/л или 2,54 кг/га, а теплого периода до 1,00 мг/л или 4,23 кг/га. Всего в среднем за 4 года выпадало с атмосферными осадками 6,77 кг/га серы, что на 23 % меньше по сравнению с данными, полученными ранее. Снижение содержания серы в осадках можно объяснить в целом улучшением экологической ситуации в атмосфере за счет использования современных технологий в промышленных, добывающих, перерабатывающих предприятиях. Переход отопления частного сектора и энергогенерирующих предприятий на газовое топливо.

Таблица 1 – Баланс серы за ротацию севооборота, кг/га

Фактор		Приход		Расход		Баланс
Вид севооборота (А)	Удобрения (С)	С атмосферными осадками	С семенами	Вынос с урожаем	Выщелачивание	
С занятым паром	Без удобрений	27,1	2,4	27,8	14,0	-12,3
	НРК	27,1	2,4	37,0	14,0	-21,5
С чистым паром	Без удобрений	27,1	2,2	20,2	14,0	-4,9
	НРК	27,1	2,2	30,5	14,0	-15,2
С сидеральным паром	Без удобрений	27,1	2,4	20,5	14,0	-5,0
	НРК	27,1	2,4	30,0	14,0	-14,5

Расчет баланса серы за ротацию севооборота показал, что он был отрицательным. На не удобренных фонах он составлял от -4,9 кг/га в севообороте с чистым паром до -12,3 кг/га в севообороте с занятым паром.

При применении расчётных доз удобрений с ростом урожайности увеличивался вынос серы, что приводило к возрастанию ее дефицита. При этом баланс серы в севообороте с сидеральным паром составил -14,5 кг/га, с чистым паром – -15,2 кг/га, а с занятым паром – -21,5 кг/га.

Влияние фотохимического фактора на содержание в почве доступной серы

Трансформация форм серы в почве является сложным и недостаточно изученным процессом. Для изучения механизма образования доступной серы в почве были проведены лабораторные эксперименты. Изучали влияние фотохимического фактора на содержание в почве доступной серы. Объектом исследования служила дерново-подзолистая среднесуглинистая малогумусная почва. Эксперимент проводили с искусственным облучением с использованием лабораторной установки. Для облучения использовали ртутную лампу ДРЛ 400 и бактерицидную лампу 30-иУС. Контролем служила почва, которая не проходила облучение и компостирование. Содержание серы в почве до закладки опыта было 2,25 мг/кг. Время экспозиции облучения и компостирования составляло 336 часов.

Проведенные исследования показали, что содержание подвижной серы в почве, не подвергшейся компостированию, под воздействием облучения увеличилось на 0,25 мг/кг и составило 2,50 мг/кг. В процессе компостирования содержание серы в почве возрастало и составило 6,75 мг/кг. При компостировании почвы, подвергшейся облучению, содержание серы увеличилось на 1,25 мг/кг и составило 8,0 мг/кг.

Таким образом, механизм пополнения содержания серы в почве можно представить следующим образом. На первом этапе за счет солнечного света под воздействием фотохимических реакций происходит деструкция гумусовых веществ почвы. На втором этапе за счет микробиологических процессов идет окисление серы до сульфатов.

Для изучения способности почвы к окислению внесенной элементарной серы до сульфатной, то есть усвояемой растениями, провели

следующий эксперимент. Для исследования была использована аналогичная почва с содержанием серы 2,25 мг/кг. Опыт проводился в колбах на 500 мл, масса почвы составляла 200 г. Количество элементарной серы внесли из расчета 60 кг/га. Продолжительность компостирования составляла две недели. Анализы показали, что через две недели компостирования содержание серы в почве контрольного варианта возросло до 5,60 мг/кг, а с применением элементарной серы до 17,90 мг/кг. Следовательно, увеличение содержания серы за счет внесения элементарной серы составило 12,30 мг/кг или 36,9 кг/га.

Таким образом, в течение двух недель 61 % элементарной серы перешло в доступную для растений форму. Следовательно, элементарная сера может служить эффективным серным удобрением.

Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество клубней картофеля

Данные полученные в результате наших исследований показали, что применение серосодержащих удобрений положительно влияло на урожайность клубней картофеля (табл. 2). Погодные условия в годы исследований были довольно благоприятными для возделывания картофеля.

Таблица 2 – Урожайность клубней картофеля, кг/м²

№	Вариант	2013 г.	2014 г.	2015 г.	Среднее
1	N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	2,42	3,00	2,89	2,77
2	Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	2,60	3,01	3,11	2,91
3	Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	2,87	3,29	3,48	3,21
4	Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	2,56	3,22	3,34	3,04
5	Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	2,90	3,19	3,46	3,18
6	Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	3,13	3,41	3,68	3,41
7	Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	2,76	3,22	3,46	3,15
	НСР ₀₅	0,15	0,17	0,23	0,09

Урожайность клубней в 2013 году по вариантам опыта составила от 2,42 до 3,13 кг/м², в 2014 году от 3,00 до 3,41 кг/м², а в 2015 году от 2,89 до 3,68 кг/м². Во все годы исследований применение серосодержащих удобрений обеспечило увеличение урожайности клубней картофеля. Однако их эффективность зависела от применяемой дозы и формы удобрения.

В среднем за три года исследований при внесении элементарной серы в дозе 30 кг/га урожайность клубней возросла с 2,77 до 2,91 кг/м². С увеличением дозы серы до 60 кг/га урожайность клубней возросла на 0,44 кг/м² и составила 3,21 кг/м². Дальнейшее увеличение дозы серы до 90 кг/га привело к снижению урожайности клубней до 3,04 кг/м². При внесении серы в виде сульфата аммония в дозе 30 кг/га урожайность клубней картофеля возросла на 0,41 кг/м² и составила 3,18 кг/м². Максимальная урожайность клубней 3,41 кг/м² была получена при дозе серы 60 кг/га. Увеличение дозы серы до 90 кг/га привело к снижению урожайности клубней картофеля до 3,15 кг/м².

Применение серосодержащих удобрений влияло на качество клубней картофеля в годы исследований. В среднем за три года исследований при внесении элементарной серы в дозах 30, 60 и 90 кг/га содержание крахмала в клубнях картофеля возросло с 17,0 % соответственно до 17,6, 18,3 и 18,0 % (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние серосодержащих удобрений на качество клубней картофеля (среднее за 2013–2015 гг.)

№	Вариант	Крахмал, %	Сухое вещество, %	Сырой протеин, %	Нитраты, мг/кг
1	N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	17,0	21,5	9,98	36,9
2	Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	17,6	22,4	9,63	37,0
3	Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	18,3	22,9	9,46	34,3
4	Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	18,0	22,2	9,23	36,2
5	Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	17,7	22,0	8,66	39,2
6	Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	18,0	21,7	9,12	37,3
7	Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	17,6	21,8	9,18	38,5
	НСР ₀₅	0,5	0,8		

Максимальное содержание крахмала был получен при внесении элементарной серы в дозе 60 кг/га и составил 18,3 %. При внесении серы в виде сульфата аммония наибольшее содержание крахмала было при дозе серы 60 кг/га и составило 18,0 %. Это можно объяснить тем, что серосодержащие удобрения повышали фотосинтетическую активность листьев, что способствовало накоплению содержания крахмала в клубнях.

При внесении элементарной серы в дозе 30 кг/га содержание сухого вещества в клубнях картофеля возросло с 21,5 до 22,4 %. С увеличением дозы серы до 60 кг/га процент сухого вещества в клубнях возрос на 1,4 % и составил 22,9 %. Увеличение дозы серы до 90 кг/га привело к снижению содержания сухого вещества клубней до 22,2 %. При применении серы в виде сульфата аммония в дозе 30 кг/га содержание сухого вещества увеличилось на 0,5 % и составило 22,0 %. Увеличение дозы серы до 60 и 90 кг/га привело к снижению количества сухого вещества соответственно до 21,7 и 21,8 %.

При использовании элементарной серы в дозах 30, 60 и 90 кг/га содержание сырого протеина в клубнях картофеля снижалось на 0,35, 0,52 и 0,75 % и соответственно составило 9,63, 9,46 и 9,23 %. При внесении серы в виде сульфата аммония в дозе 30 кг/га содержание сырого протеина составило 8,66 %. С увеличением дозы серы до 60 и 90 кг/га привело к увеличению содержание сырого протеина в клубнях картофеля соответственно до 9,12 и 9,18 %.

Определение содержания нитратов в клубнях картофеля показало, что оно было ниже предельно допустимой концентрации. Влияние доз серного удобрений на содержание нитратов в клубнях картофеля в годы исследования было не существенным. В среднем за три года содержание нитратов в клубнях по вариантам опыта изменялось не значительно от 34,3 до 39,2 мг/кг.

Таким образом, применение серного удобрения положительно сказалось на качестве клубней картофеля. С увеличением дозы серного удобрения повышалось содержание крахмала и сухого вещества в клубнях картофеля, а содержание сырого протеина снижалось. Влияние доз серного удобрения на содержание нитратов в клубнях картофеля в годы исследования было не существенным.

В результате исследований с использованием серосодержащих удобрений содержание серы в клубнях картофеля повысилось с 0,12 до 0,15 %, в ботве – с 0,15 до 0,19 %. Наибольшее содержание серы 0,15 % было в клубнях картофеля при внесении элементарной серы в дозе 60 кг/га и сульфата аммония в дозе 90 кг/га.

Коэффициенты использования серы из серосодержащих удобрений изменялись как в зависимости от вида удобрения, так и от применяемой дозы. При использовании элементарной серы в дозе 30 кг/га коэффициент использования серы картофелем составил 7,7 %. С увеличением дозы до 60 и 90 кг/га коэффициенты использования серы соответственно составили 10,5 и 2,9 %. При внесении сульфата аммония в дозах 30, 60 и 90 кг/га значения коэффициента использования серы были выше и составили соответственно 15,3, 10,2 и 5,7 %.

Влияние серосодержащих удобрений на фотосинтетическую способность и условия минерального питания растений

Данные полученные в результате исследований показали, что применение серосодержащих удобрений влияло на формирование листовой поверхности картофеля. В среднем за три года исследований площадь листовой поверхности растений картофеля в фазе цветения изменялась от 23,6 до 29,5 тыс. м²/га. Наименьшая листовая поверхность картофеля была сформирована на контрольном варианте. При применении серосодержащих удобрений площадь листовой поверхности картофеля возрастала. При внесении элементарной серы максимальная площадь листовой поверхности картофеля была сформирована в дозе 60 кг/га и составила 29,5 тыс. м²/га. При использовании сульфата аммония наибольшая площадь листовой поверхности была получена при дозе серы 30 кг/га и составила 27,8 тыс. м²/га.

Применение серосодержащих удобрений изменяло содержание хлорофилла в листьях картофеля. В среднем за три года исследований при внесении элементарной серы в дозах 30, 60 и 90 кг/га содержание хлорофилла в листьях картофеля возросло с 242,5 мг/100г соответственно до 253,8, 265,2 и 243,6 мг/100 г. При использовании элементарной серы наибольшее содержание хлорофилла в листьях картофеля было получено при дозе 60 кг/га. При внесении серы в виде сульфата аммония наибольшее содержание хлорофилла было при дозе серы 30 кг/га и составило 253,8 мг/100 г.

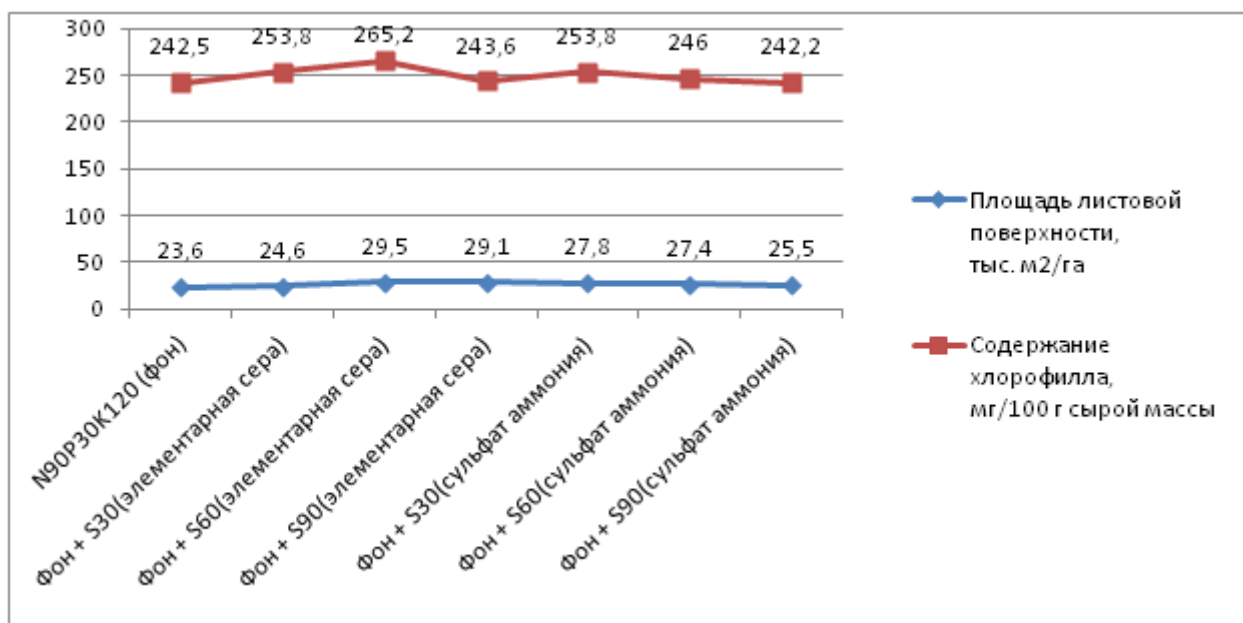


Рисунок 1 – Влияние серосодержащих удобрений на фотосинтетическую способность листьев картофеля (среднее за 2013–2015 гг.)

Таким образом, серосодержащие удобрения влияли на фотосинтетическую способность листьев картофеля. Максимальная площадь листовой поверхности и содержание хлорофилла в листьях картофеля были при внесении элементарной серы в дозе 60 кг/га.

Баланс серы при возделывании картофеля

В расчете баланса серы при возделывании картофеля в приходную часть включали поступлением серы с серосодержащими удобрениями, атмосферными осадками и посадочным материалом (табл. 4).

Таблица 4 – Баланс серы при возделывании картофеля, кг/га (среднее за 2013–2015 гг.)

№	Вариант	Приход			Расход		Баланс
		С удобрением	С атмосферными осадками	С клубнями	Вынос с урожаем	Выщелачивание	
1	N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	–	6,3	1,2	11,9	3,2	-7,6
2	Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	30	6,3	1,2	14,2	18,2	5,1
3	Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	60	6,3	1,2	18,2	33,2	16,1
4	Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	90	6,3	1,2	14,5	48,2	34,8
5	Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	30	6,3	1,2	16,5	18,2	2,8
6	Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	60	6,3	1,2	18,0	33,2	16,3
7	Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	90	6,3	1,2	17,0	48,2	32,3

В исследованиях, проведенных нами в 2013–2015 гг. содержание серы в осадках холодного периода составило 2,3 кг/га, а теплого периода – 4,0 кг/га. Всего в среднем за три года поступило с атмосферными осадками 6,3 кг/га серы и клубнями картофеля – 1,2 кг/га.

При применении серосодержащих удобрений вынос серы урожаем основной и побочной продукции возрастал. Наибольший вынос серы 18,2 и 18,0 кг/га был при внесении серы в виде элементарной серы и сульфата аммония в дозе 60 кг/га.

Сопоставление приходных и расходных статей баланса показало, что на контрольном варианте баланс серы был отрицательным и составил -7,6 кг/га. При применении серосодержащих удобрений баланс серы складывался положительно. Внесение элементарной серы в дозе 30 кг/га обеспечило положительный баланс серы, который составил 5,1 кг/га. С внесением серы в дозе 60 кг/га баланс составил 16,1 кг/га, а при дозе 90 кг/га возрос до 34,8 кг/га. Внесение серы в аналогичных дозах в виде сульфата аммония сформировало положительный баланс серы, который составил соответственно 2,8, 16,3 и 32,3 кг/га. Таким образом, выращивание картофеля без внесения серосодержащих удобрений приводит к отрицательному балансу серы и снижению ее запасов в почве. Это говорит о необходимости дополнительного внесения серы с органическими и минеральными удобрениями.

Влияние серного удобрения на урожайность и качество викоовсяной смеси

Проведенные исследования показали, что 2014 и 2016 годы были благоприятными для роста и развития викоовсяной смеси. Урожайность зеленой массы в 2014 году по вариантам опыта составила от 18,3 до 20,1 т/га, а в 2016 году от 18,6 до 22,6 т/га. Как в 2014, так и в 2016 годах минимальная урожайность была получена на контрольном варианте (табл. 5).

Таблица 5 – Урожайность зеленой массы викоовсяной смеси, т/га

№	Вариант	2014 г.	2016 г.	Среднее
1	N ₀ P ₀ K ₃₀ (фон)	18,3	18,6	18,5
2	Фон + S ₂₀	18,8	20,5	19,7
3	Фон + S ₄₀	19,6	22,2	20,9
4	Фон + S ₆₀	20,1	22,6	21,3
	НСР ₀₅	1,3	1,5	1,2

Применение серного удобрения обеспечило увеличение урожайности зеленой массы викоовсяной смеси. В среднем за два года исследований выявлено, что применение серного удобрения обеспечило увеличение урожайности зеленой массы викоовсяной смеси. Однако их эффективность зависела от применяемой дозы. Минимальная урожайность зеленой массы была получена на контрольном варианте и составила 18,5 т/га. При внесении элементарной серы прибавка урожая зеленой массы викоовсяной смеси составила 2,4 т/га при дозе серы 40 кг/га и 2,8 т/га при дозе серы 60 кг/га.

Внесение элементарной серы в дозе 20 кг/га не обеспечивало получение достоверной прибавки урожайности зеленой массы викоовсяной смеси. Таким образом, оптимальным являлось внесение серы в дозе 40 кг/га.

Применение серного удобрения улучшало условия азотного питания растений и слабо влияло на условия фосфорного и калийного питания викоовсяной смеси.

Проведенные исследования показали, что с использованием элементарной серы увеличивалось содержание серы в растениях. В начальный период вегетации в фазу ветвления вики содержание серы в растениях было значительно выше по сравнению с фазой цветения. С увеличением доз внесения серы ее содержание в растениях возрастало. В среднем за два года исследований, в фазу ветвления вики содержание серы в растениях составляло на контрольном варианте 0,15 %. При внесении 20 и 40 кг/га серы оно возросло до 0,17 %, а при дозе элементарной серы 60 кг/га – до 0,20 %. К фазе цветения вики содержание серы в растениях снизилось. На контрольном варианте оно составило 0,10 %, а при внесении 20, 40 и 60 кг/га серы – соответственно 0,11, 0,16 и 0,18 %.

С увеличением доз серного удобрения возрастал вынос урожаем зеленой массы викоовсяной смеси азота, фосфора, калия, серы и увеличивался сбор сырого протеина с 0,76 до 0,89 т/га.

Значения коэффициентов использования серы викоовсяной смесью изменялись от 5,0 до 10,7 %. При дозе внесения элементарной серы 20 кг/га коэффициент использования серы составил 5,0 %. С увеличением дозы до 40 и 60 кг/га коэффициент использования серы соответственно составил 10,7 и 10,2 %.

Таким образом, с увеличением дозы элементарной серы повышалось её содержания в растениях, увеличивалась урожайность, возрастал вынос с зеленой массой викоовсяной смеси и коэффициент использования из удобрения.

Экономическая оценка использования серных удобрений при возделывании картофеля и викоовсяной смеси

Результаты расчета экономической эффективности возделывания картофеля и викоовсяной смеси показали, что применение серосодержащих удобрений приводило к увеличению чистого дохода и рентабельности. Установлено, что наиболее эффективным было возделывание картофеля при внесении серы в виде сульфата аммония в дозе 60 кг/га. На данном варианте был получен максимальный чистый доход 108395 руб./га, наивысший уровень рентабельности 112,7 % и наименьшая себестоимость 1 тонны клубней картофеля 2821,2 руб. При возделывании викоовсяной смеси наиболее рентабельным было внесение серы в дозе 40 кг/га. При данной дозе было получено 2990 рублей чистого дохода, уровень рентабельности составил 40,1 %, при себестоимости 1 тонны зеленой массы 356,9 руб.

ВЫВОДЫ

1. В условиях дерново-подзолистых почв Республики Марий Эл поступление серы в почву с атмосферными осадками в годы исследований составляло 6,77 кг/га, из них в зимний период – 2,54 кг/га, в летний период – 4,23 кг/га, что на 23 % меньше по сравнению с данными, полученными 40 лет назад.

2. Возделывание сельскохозяйственных культур без внесения серосодержащих удобрений приводило к отрицательному балансу серы в севообороте и снижению ее запасов в почве. На не удобренных фонах дефицит серы составлял от 4,9 кг/га в севообороте с чистым паром до -12,3 кг/га в севообороте с занятым паром. При применении расчётных доз удобрений дефицит серы возрастал до -21,5 кг/га.

3. Механизм образования доступной серы в почве можно представить следующим образом. На первом этапе за счет солнечного света под воздействием фотохимических реакций происходит деструкция гумусовых веществ почвы. На втором этапе за счет микробиологических процессов идет окисление серы до сульфатов.

При благоприятных почвенных условиях элементарная сера в течение двух недель на 61 % переходила в доступную для растений форму.

4. Серосодержащие удобрения повышали фотосинтетическую способность листьев картофеля. Максимальная площадь листовой поверхности 29,5 тыс. м²/га и содержание хлорофилла 265,2 мг/100 г. в листьях картофеля были при внесении элементарной серы в дозе 60 кг/га.

5. Применение серосодержащих удобрений в среднем за три года исследований обеспечило увеличение урожайности клубней картофеля с 2,77 кг/м² до 3,41 кг/м². Максимальная урожайность клубней картофеля была получена при внесении серы в дозе 60 кг/га. Внесение данной дозы в виде элементарной серы обеспечило получение урожайности клубней 3,21 кг/м², а сульфата аммония – 3,41 кг/м².

6. С увеличением доз серного удобрения повышалось содержание крахмала и сухого вещества в клубнях картофеля, и снижалось содержание сырого протеина. Влияние доз серного удобрения на содержание нитратов в клубнях картофеля в годы исследования было не существенным.

7. Использование серосодержащих удобрений повышало содержание серы в клубнях картофеля с 0,12 до 0,15 % и в ботве с 0,15 до 0,19 %. Наибольшее содержание серы 0,15 % имели клубни картофеля, выращенные с применением элементарной серы в дозе 60 кг/га и сульфата аммония в дозе 90 кг/га.

8. Внесение серного удобрения положительно сказалось на урожае зеленой массы викоовсяной смеси. В среднем за два года при внесении элементарной серы в дозе 40 кг/га урожайность зеленой массы возросла на 2,5 т/га и составила 20,9 т/га. С увеличением доз серы до 60 кг/га дальнейшего достоверного увеличения урожайности зеленой массы не наблюдалось.

9. Применение серного удобрения улучшало условия азотного и серного питания викоовсяной смеси и слабо влияло на поглощение фосфора и калия. С увеличением доз элементарной серы возрастал вынос урожаем зеленой массы викоовсяной смеси азота, фосфора, калия, серы и увеличивался сбор сырого протеина с 0,76 до 0,89 т/га.

10. Баланс серы при возделывании картофеля и викоовсяной смеси без применения серосодержащих удобрений был отрицательным и составил соответственно -7,6 кг/га и -2,7 кг/га. Применение серосодержащих удобрений обеспечивало положительный баланс серы. С увеличением доз серосодержащих удобрений положительный баланс серы возрастал.

11. Коэффициенты использования серы из серосодержащих удобрений изменялись в зависимости от вида удобрения и от применяемой дозы. При применении элементарной серы коэффициенты использования серы картофелем изменялись от 2,9 до 10,5 %, а при использовании сульфата аммония – от 5,7 до 15,3 %. Коэффициенты использования серы викоовсяной смесью составляли 5,0–10,7 %.

12. Применение серосодержащих удобрений было экономически выгодным. Наиболее эффективным было возделывание картофеля при внесении серы в виде сульфата аммония в дозе 60 кг/га. На данном варианте был получен максимальный чистый доход 108395 руб./га, наивысший уровень рентабельности 112,7 % и наименьшая себестоимость 1 тонны клубней картофеля 2821,2 руб. При возделывании викоовсяной смеси наиболее рентабельным было внесение серы в дозе 40 кг/га. Уровень рентабельности на данном варианте составила 40,1 %, а себестоимость 1 тонны зеленой массы 356,9 руб.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ

На дерново-подзолистых почвах Республики Марий Эл для повышения урожайности, улучшения качества сельскохозяйственных культур и обеспечения бездефицитного баланса серы в севооборотах рекомендуем применять серосодержащие удобрения под картофель в дозе серы 60 кг/га и под викоовсяную смесь – 40 кг/га.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Статьи в журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов научных исследований:

1. **Муржинова, А.В.** Влияние способов обработки почвы и минеральных удобрений на урожайность и химический состав сельскохозяйственных культур в севообороте / Н.И. Толмачев, **А.В. Муржинова**, М.Н. Иванов // *Фундаментальные исследования.* – 2014. – № 8-7. – С. 1626–1629.

2. **Муржинова, А.В.** Влияние минеральных удобрений на продуктивность севооборотов с различными видами паров / С.И. Новоселов, Н.И. Толмачев, **А.В. Муржинова** // Плодородие. – 2014. – № 5 (80). – С. 14–15.

3. **Иванова, А.В.** Влияние минеральных удобрений на баланс серы в севооборотах с различными видами паров / С.И. Новоселов, **А.В. Иванова**, Н.И. Толмачев, В.В. Ефремов // Агрохимия. – 2016. – № 6. – С. 16–19.

Публикации в других журналах и изданиях:

4. **Муржинова, А.В.** Влияние видов паров, удобрений и способов обработки почвы на урожайность и химический состав зерна озимой ржи / С.И. Новоселов, **А.В. Муржинова** // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Йошкар-Ола, 2013.– Вып. XV. – С. 59–61.

5. **Муржинова, А.В.** Влияние приемов обработки почвы и минеральных удобрений на урожайность и качество зерна ячменя / С.И. Новоселов, **А.В. Муржинова**, В.В. Ефремов, Э.Р. Мамедов // Актуальные вопросы совершенствования производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Йошкар-Ола, 2014. – Вып. XVI. – С. 30–31.

6. **Иванова, А.В.** Влияние агротехнического фактора на урожайность и вынос серы в звене севооборота озимая рожь – картофель – ячмень / **А.В. Иванова**, В.В. Ефремов, С.В. Васильева, Н.С. Грухина // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Йошкар-Ола, 2015.– Вып. XVII. – С. 59–61.

7. **Иванова, А.В.** Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество клубней картофеля / **А.В. Иванова**, В.В. Ефремов // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Йошкар-Ола, 2016.– Вып. XVIII. – С. 100-102.

8. **Иванова, А.В.** Влияние серосодержащих удобрений на урожайность клубней картофеля и зеленой массы викоовсяной смеси / **А.В. Иванова**, В.В. Ефремов // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Йошкар-Ола, 2017.– Вып. XIX. – С. 10-12.

9. **Иванова, А.В.** Влияние серного удобрения на урожайность и баланс серы при возделывании викоовсяной смеси / **А.В. Иванова**, В.В. Ефремов // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Йошкар-Ола, 2018.– Вып. XX. – С. 37-39.

10. **Иванова, А.В.** Эффективность минеральных удобрений в севооборотах с различными видами паров / С.И. Новоселов, Н.И. Толмачев,

А.В. Иванова // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2015. – Т.1. – № 1. – С. 19-22.

11. **Иванова, А.В.** Баланс серы в севооборотах с различными видами паров / С.И. Новоселов, **А.В. Иванова**, Н.И. Толмачев, В.В. Ефремов // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2016. – Т.1. – № 5. – С. 39-43.

12. **Муржинова, А.В.** Эффективность сидеральных удобрений в севообороте / Н.И. Толмачев, М.Н. Иванов, **А.В. Муржинова** // Студенческая наука и XXI век. – Йошкар-Ола, 2012. – № 9. – С. 55–58.

ЛР №020444 от 10.03.98 г.

Подписано в печать 17.07.2018

Формат 60×84 1/16. Печ.л.1

Заказ №___ Тираж 100 экз.

Редакционно-издательский центр Самарской ГСХА

446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2

Тел.: (84663) 46-2-44, 46-2-47, Факс 46-2-44, E-mail: ssaariz@mail.ru