

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МАРИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор Новосёлов Сергей Иванович

Йошкар-Ола – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	9
1.1. Роль серы в жизни растений.....	9
1.2. Содержание серы в почве.....	17
1.3. Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур.....	26
2. УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	40
2.1. Географическое расположение Республики Марий Эл.....	40
2.2. Климат зоны и погодные условия в годы исследований.....	40
2.3. Схема опыта и методика исследований.....	50
2.4. Почвы региона и почвенный покров опытного участка.....	55
3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	57
3.1. Баланс серы в севооборотах с различными видами паров.....	57
3.2. Влияние фотохимического фактора на содержание в почве доступной серы.....	62
3.3. Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество клубней картофеля в условиях дерново-подзолистых почв Волго-Вятского региона..	66
3.3.1. Фотосинтетическая способность картофеля.....	66
3.3.2. Урожайность и качество клубней картофеля.....	69
3.3.3. Содержание элементов питания в клубнях и ботве картофеля.....	78
3.3.4. Вынос питательных элементов урожаем картофеля.....	83
3.3.5. Баланс серы при возделывании картофеля.....	86
3.4. Влияние серного удобрения на урожайность и качество викоовсяной смеси.....	88
3.4.1. Вынос питательных элементов урожаем викоовсяной смеси.....	93
3.4.2. Баланс серы при возделывании викоовсяной смеси.....	95

4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА	97
4.1. Экономическая эффективность использования серосодержащих удобрений при возделывании картофеля.....	97
4.2. Экономическая эффективность использования серного удобрения при возделывании викоовсяной смеси.....	99
ВЫВОДЫ	100
ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ	103
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	104
ПРИЛОЖЕНИЯ	126

ВВЕДЕНИЕ

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.

Основным источником поступления соединений серы в растения является почва. На содержание серы в почвах могут влиять атмосферные осадки, применение серосодержащих пестицидов, минеральных и органических удобрений. В результате антропогенного воздействия поступление серы в почву в последние годы существенно снизилось. Наибольший дефицит серы наблюдается на почвах с низким содержанием гумуса. Исследованиями установлено, что наибольшее количество серы находится в почвах богатых гумусом: в черноземах, темно-серых лесных почвах, а наименьшее – в дерново-подзолистых и светло-серых лесных почвах. Содержание валовой серы в почвах республики в зависимости от содержания гумуса и механического состава колеблется в широких пределах. Наименьшее количество серы содержится в пахотном слое дерново-подзолистых песчаных и супесчаных и светло-серых лесных почвах. Увеличение содержания гумуса в почве и утяжеление ее механического состава приводит к увеличению валового содержания серы. 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.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Физиологическая роль серы в жизни растений

Сера, как химический элемент, охарактеризована впервые в 1789 г. А.Л. Лавуазье. Он её включил в список неметаллических простых тел. К началу XIX в. не все химики признавали серу как самостоятельный химический элемент. Лишь в 1809 г. Ж. Гей-Люссак рассеял все существовавшие сомнения и точно установил ее существование. Русское название элемента восходит своими корнями к санскритскому слову сира (светло-желтый).

Химически чистая сера – хрупкое кристаллическое вещество желтого цвета, хорошо растворима в сероуглероде, бензоле, анилине; в воде она не растворяется. Сера плохо проводит теплоту и электричество. Она образует молекулы с четным числом атомов: S^2 , S^4 , S^6 , S^8 . При обычных условиях устойчива молекула S^8 , имеющая структуру короны. Из таких молекул, связанных силами Ван-дер-Ваальса, построены две аллотропные кристаллические модификации серы: ромбическая лимонно-желтая α -форма и моноклинная медово-желтая β -форма. Ромбическая сера существует в устойчивом состоянии до температуры 95,5 °С; выше этой температуры – моноклинная сера. Таким образом, температура 95,5 °С является точкой превращения моноклинной серы в ромбическую. Следовательно, эти формы серы являются энантиотропными полиморфными формами (Аристархов А.Н., 2007).

Н.И. Шевякова (1979) отметила, что наличие серы в составе растений было установлено еще в 1859 году К. Либихом. Ее значение как элемента, необходимого растениям, стало очевидным после разработки Саксом и Кнопом в 1860 году метода выращивания растений на солевых растворах. Сера входит в число девяти макроэлементов, необходимых для питания растений.

В растениях содержание серы колеблется от 0,02 до 1,8 %. Сера обязательная составная часть аминокислот, вместе с которыми она участвует в образовании белков. Содержание этих аминокислот в зеине кукурузы и в глиадине пшеницы составляет соответственно 2,4; 0,9 и 2,3; 2,3 % от сухой массы. Он участвует в образовании высокоэнергетических фосфатных связей и стимулирует биосинтез белковых форм фосфора (Пейве Я.В., 1961).

А.Н. Аристархов (2007) утверждает, что сера в растение поступает через корни в форме иона SO_4 , а также поглощается листьями в виде SO_2 из атмосферы. Причем, за счет атмосферы может удовлетворяться более половины потребностей растений в этом элементе. Сера улучшает использование растениями основных элементов питания. Имеется тесная зависимость содержания серы и азота в растениях. Дефицит серы в питательной среде тормозит восстановление и ассимиляцию азота растениями.

По физиологическому значению в жизни растений среди элементов минерального питания сера занимает третье место после азота и фосфора. Важнейшие функции серы в белках – участие SH – групп и S–S – связей в стабилизации трехмерной структуры белков и образование связей с коферментами и простетическими группами (Алешин Е.П., Алешин Н.Е., 1993; Шеуджен А.Х, 2005).

В состав белка входит сера. Она содержится в аминокислотах – цистине, цистеине и метионине. Кроме того сера входит в состав некоторых растительных масел – горчичного, чесночного и других, в состав витаминов – тиамина и биотина, а также – в состав некоторых антибиотиков, в частности пенициллина. Сера входит в состав коэнзима А, который играет важную роль в процессах окисления (Аристархов А.Н., 2007).

Как подчеркивал Н.С. Авдонин (1972) сера, прежде всего, имеет большое значение в белковом обмене, в окислительно-восстановительных процессах, в активировании энзимов и других процессах, положительно влияющих на образование клубеньков на корнях бобовых культур и,

следовательно, способствует фиксации азота из атмосферы. На положительную роль серы в активизации жизнедеятельности клубеньковых бактерий указывала Р.И. Кардиналовская (1984), а также С.С. Shock, А. Williams, М.В. Jones и др. (1984).

В работах Л.Н. Гаврилова (1972) и С.В. Горюнова (1970) отмечено, что сера в клетке растений выполняет следующие биологические функции – энергетическую, структуральную (в составе белков, углеводов, липидов и других), каталитическую (в активном центре ферментов, составная часть кофакторов), окислительно-восстановительную (баланс в клетке); инициативную (при клеточном делении), ростовую (в полипептидной цепи при синтезе белков). Она также участвует в реакциях метилирования ДНК, РНК и других важных соединений.

В работе Ю.А.Смирнова (1985) отмечено, что сера имеет важное значение в таких процессах жизни растений, как дыхание, фотосинтез и первичная ассимиляция азота, образование растительных масел, ферментов, гормонов, антибиотиков, горчичных глюкозидов и ряда макроэргических компонентов.

По мнению многих ученых (Bloem Elke, 2003; Chatterjee C. et al., 2005; Grant C. A. et al., 2003; Malhi S.S. et al., 2005), при недостатке серы листья растений не отмирают, но их окраска становится бледной. Учеными отмечено, что потребность различных растений в сере неодинакова. Больше её выносят с урожаем растения из семейства крестоцветных, например, горчица, капуста, репа и др.

По данным Р.Х. Айдиняна (1964) и В.Д. Панникова (1977), растения семейства маревых (свекла) и бобовых (бобы, горох) также выносят с урожаем достаточное количество серы. В меньшей мере сера выносятся с урожаем картофеля, кукурузы и хлопчатника.

В работе П.А. Баранова (1969) отмечено, что при достаточном серном питании повышается устойчивость растений к низким температурам, засухе, засолению почвы, к болезням.

Сера принимает участие в многочисленных реакциях обмена (аэробная фаза дыхания, синтез жиров и др.). В составе коэнзима А (CoA-SH) сера участвует в образовании макроэргической связи с ацильными группами кислот. Ацетилкоэнзим А (CH₃CO~SCoA) играет роль в метаболизме углеводов, жирных кислот, аминокислот. Сульфгидрильные группировки (SH) и дисульфидные связи (S-S) играют большую роль, обеспечивая взаимодействие между ферментами и их простетическими группами, а также участвуя в создании определенной конфигурации белковых молекул. Так, SH – группы связывают белок с такими коферментами, как НАД или ФАД. Часто за счет дисульфидных связей сохраняется трехмерная структура белка, а, следовательно, его активность. Соединения серы участвуют в поддержании уровня окислительно-восстановительного потенциала клетки. Своеобразный вкус и запах некоторых растений семейства крестоцветных связано с тем, что в состав чесночных и горчичных масел, имеющих в этих растениях, содержится сера. Нельзя не отметить, что соединения серы, такие, как S-аденозилметионин, участвуют в образовании полиаминов, в частности спермидина. Согласно современным представлениям, полиамины играют большую и разностороннюю роль в жизнедеятельности организмов (Макроэлементы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://fizrast.ru/kornevoe-pitanie/fiz-rol/makro-mikro/makroelementy.html>).

При изучении питания растений серой возникает вопрос о необходимости знания в каждом конкретном случае состояния метаболизма серы. Это может оказаться полезным при выборе соответствующих доз серных удобрений, а также видов и сортов растений, отказывающихся на внесение серы. Отличительная особенность высших растений состоит в способности использовать серу и сульфата в биосинтетических целях. Поэтому у растений сульфат является главным источником питания серой, занимает ведущее положение и во многом зависит от накопления его в почвах. Регулируя серное питание растений, можно повлиять на

количественные и качественные параметры сельскохозяйственной продукции (Слюсарев В.Н., 2007).

В технологиях выращивания картофеля сера играет положительную роль, как для урожая, так и его качества. Дефицит серы в почвах является одной из причин вырождения клубней картофеля (Кардиналовская Р.И., 1984; Чернова Л.М., 1983; Zehler E., Kreipe H., 1981). В Белоруссии прибавки урожая клубней от внесения 60–120 кг/га серы (в форме элементарной серы, гипса и фосфогипса) на дерново-подзолистых супесчаных почвах достигают 11–25 ц/га при увеличении крахмалистости на 0,5–1,0 % (контрольные показатели по фону NPK – 248 ц/га и 17,2 %). При этом серосодержащие удобрения способствуют лучшему поступлению в растения не только серы, но также N, P, K, Ca и Mg (Шкель М. П., 1979). Аналогичные данные получены в Латвии (Анспок П.И., 1973) и на Украине (Кардиналовская Р.И., Лазурский А.В., 1977).

По данным И.Я. Масловой (1993), В.Д. Панникова, В.Г. Минеева (1977) и U. S. Moynuddin (2004) содержание серы (в пересчете на SO_3) в растениях выражается следующими величинами (% на воздушно-сухое вещество): в зерне озимой пшеницы – 0,02, гороха – 0,08, в клубнях картофеля – 0,06, в соломе пшеницы – 0,11, гороха – 0,27, ботве картофеля – 0,13.

В.М. Никитишен и В.И. Личко (2010) отметили, что высокообеспеченные азотом посевы кукурузы испытывают недостаток серы, как и посевы ячменя, выращиваемые в условиях длительного применения минеральных удобрений в стационарных полевых опытах.

Известно, что кукуруза отличается не меньшей, чем бобовые культуры и зерновые злаки, отзывчивостью на внесение серы (Аристархов А.Н., 2007). Дефицит серы проявляется в большинстве случаев на легких почвах с низким содержанием органического вещества и при применении высоких доз азота и фосфора. В вегетационных опытах (Церлинг В.В., Ерофеев А.А., 1972), проведенных на супесчаной почве, под влиянием внесения серы на фоне NPK урожай надземной биомассы кукурузы повышался на 50 %.

По данным полевых опытов Р.И. Кардиналовской (1984), прибавки урожая биомассы этой культуры под действием серосодержащего удобрения составляли: на дерново-подзолистой почве – 32 %, на светло-серой оподзоленной – 19 %, на темно-серой оподзоленной – 9 %. Вместе с тем, при выращивании кукурузы на иловатой тяжелосуглинистой почве с внесением $N_{230}P_{78}K_{110}$ формировалась одинаковая продуктивность зерна, как с применением серы, так и без ее применения, составившая соответственно 121,0 и 122,5 ц/га (Steve D Ruhl., 2001).

Следует отметить, что в литературе имеются лишь немногочисленные данные по изменению содержания серы в растениях кукурузы в зависимости от условий минерального питания. В надземной биомассе этой культуры оно может изменяться в пределах 0,06–0,31 % (Кардиналовская Р.И., 1984).

В.И. Никитишен и В.И. Личко (2011) изучали влияние в вегетационных опытах на серой лесной малогумусной почве потребность растений кукурузы в серосодержащем удобрении. Исследование проводили в вегетационных опытах с использованием серой лесной малогумусной (2,0–2,2 %), среднесуглинистой почвы, отобранной в 2009 г. с участков многолетнего стационарного полевого опыта в варианте внесения $N_{120}P_{80}K_{60}$. За период с 1979 по 1995 гг. под культуры полевого севооборота в этом полевым опыте в виде N_{aa} , P_{cd} и K_x было внесено: N_{1440} , P_{1040} и K_{780} . Содержание минерального азота в почве при закладке вегетационных опытов в среднем составляло 1,0–1,2 мг/100 г, подвижного фосфора в вытяжке 0,2 н. НСІ – 10,0–10,2 мг/100 г, обменного калия – 11,0–11,4 мг/100 г, подвижной серы, извлекаемой 0,2 н. НСІ – 0,66 мг/100 г, и экстрагируемой 10 мМ $CaCl_2$ – следы. Емкость сосудов – 4 кг воздушно-сухой почвы. Схема опыта включала 5 вариантов: 1) РК, 2) N_1PK , 3) $N_1PK + S$, 4) N_2PK , 5) $N_2PK + S$ при пятикратной повторности. Дозы удобрений (мг/кг почвы): N_1 – 150, N_2 – 300, P_2O_5 – 200, K_2O – 200, S – 20. В качестве азотного удобрения применяли NH_4NO_3 , фосфорного – KH_2PO_4 , калийного – KCl, серного – $(NH_4)_2SO_4$.

На основании проведенных исследований В.И. Никитишен и В.И. Личко (2011) установили, что при выращивании кукурузы в вегетационных опытах на серой лесной малогумусной почве, предварительно длительное время удобряемой минеральными удобрениями и практически не содержащей подвижной серы в вытяжке 10 мм CaCl_2 , эта культура испытывает потребность в серосодержащем удобрении. Определяющим условием достижения высокой эффективности серосодержащего удобрения является обеспечение оптимальной сбалансированности серного питания растений с потреблением фосфора и азота. Выявлена высокая отрицательная связь продуктивности кукурузы с величиной соотношения содержания в тканях растений фосфор: сера и средняя – с соотношением азот : сера.

Многие ученые, такие как Н.Н. Третьяков, Е.И. Кошкин, Н.М. Макрушин и др. (1998), утверждают, что сера является одним из необходимых элементов питания озимой пшеницы. Она активно участвует в белковом и липидном обменах, процессах дыхания и фотосинтеза, активизирует синтез хлорофиллов. По мнению В.Л. Кретовича (1991), сера в составе незаменимых аминокислот входит в клейковинные белки зерна пшеницы.

В результате антропогенного воздействия поступление в почву серы в последние годы существенно снизилось, при этом вынос этого элемента с урожаем сельскохозяйственных культур постоянно увеличивается (Маслова И.Я., 2008; Шеуджен А.Х., 2005, 2008; Агеев, В.В., 2017). Содержание подвижных сульфатов в черноземах выщелоченных невелико и составляет около 3 мг/кг почвы (Слюсарев В.Н., 2007). По сообщению И.Я. Масловой (1993) недостаточное поступление серы в растения в течение вегетации может служить причиной снижения урожая и качества зерна. В растениях пшеницы сера реутилизируется слабо, поэтому в период налива зерновки нередко нуждается в экзогенном сульфате.

Я.В.Иваницкий, Ю.Ф.Осипов и В.И. Каленич (2011) в условиях Краснодарского края в полевом опыте изучали влияние действия некорневой

подкормки серой на зерновую продуктивность и качество зерна озимой пшеницы. Ими было установлено, что влияние серы на производственный процесс зависит от времени ее применения и происходит опосредованно, через взаимодействие с другими факторами. Наиболее существенное влияние наблюдалось при ее внесении в фазу формирования зерна.

Поскольку сельскохозяйственные культуры выносят с урожаем часть серы из почвы, ее необходимо восполнять. Это очень важно для зерновых культур, так как сера необходима для метаболических процессов в растении и при недостатке серы в яровой пшенице сокращается размер пула белков – переносчиков электронов типа ферредоксина, что тормозит восстановление и ассимиляцию азота растениями (Шевякова Н.И., 1979). Повышение доз азотных удобрений при возделывании яровой пшеницы приводит к увеличению урожайности, но при этом снижается содержание белка, клейковины и ее качества. Чтобы повысить качество зерна, в период его налива часто проводят некорневые подкормки посевов раствором мочевины. Как отмечает И.Я. Маслова (2010), положительный эффект подкормок мочевиной вызван не столько повышением содержания азота в растении, сколько активацией оттока ассимилятов из вегетативных органов в репродуктивные. Если при этом качество не повышается, следовательно, вегетативные органы не содержат необходимых продуктов синтеза или элементов питания. Исследованиями, проведенными И.Я. Масловой, отмечено, что одним из таких элементов может быть сера.

Выход белка и других хозяйственно важных веществ в растениеводстве обусловлен уровнями урожаев сельскохозяйственных культур и содержанием их в продукции. Изменение этих показателей не в лучшую сторону в условиях отечественного земледелия по большинству культур, особенно зернобобовых и зерновых культур, ученые нередко связывают это с издержками при применении высоких доз минеральных удобрений и ростовыми разбавлениями, но значительно меньше – с отсутствием применения необходимого ассортимента удобрений, в т. ч. и

серосодержащих (Державин Л.М. и др., 1983; Смирнов Ю.А., 1985; Аристархов А.Н., 1987, 2000, 2001 и др.).

Согласно исследованиям И.Р. Сулейманова (2011), величина продуктивности сельскохозяйственных культур при использовании серосодержащих удобрений обуславливается не только особенностями превращения серы в почве и баланса её приходных и расходных статей, но и в значительной степени с требованиями растений к плодородию почв и условиям многоэлементного эволюционно обусловленного минерального питания, т. е. биологическими особенностями культур.

По мнению многих авторов (Аристархов А.Н., 1964, 1983, 2000, 2007; Барахтенова Л.А., Николаевский Б.С., 1988), избыток серы в среде и тканях еще более вреден для растений, чем недостаток. Он вызывает их угнетение и даже в отдельных случаях гибель. Такая ситуация складывается на засоленных почвах, где сульфаты почти всегда находятся в избытке.

В исследованиях Д.Н. Прянишникова (1965) было выявлено, что сера стоит в одном ряду с такими элементами как азот, фосфор и калий. Однако до последних лет этому элементу уделялось меньше внимания, чем другим. Это обуславливалось тем, что в условиях интенсификации земледелия потребления серы растениями компенсировалось поступлением ее в почву с атмосферными осадками и содержащими серу простыми удобрениями (сульфат аммония, суперфосфат и др.).

Таким образом, растения, как и все живые организмы, не могут нормально функционировать без серы. Сера участвует в жизненно важных процессах, происходящих в растительном организме.

1.2. Содержание серы в почве

Содержание серы в почве является существенным признаком почвенного плодородия. Основная часть серы входит в состав органического вещества (70–98 %). В верхних горизонтах незасоленных почв содержание

серы колеблется от 0,01–0,02 % до 0,2–0,4 %. Наименьшая концентрация и запасы серы свойственны малогумусным песчаным и супесчаным почвам, наибольшая – торфянистым почвам и торфяникам. Доля минеральных соединений серы нарастает: 1) по мере уменьшения запасов гумуса; 2) повышения минерализованности почвенно-грунтовых вод; 3) накоплением в почвах карбонатов и гипса (Орлов Д.С., 1992). По мнению Л.Л. Убугунова (2000), резервная форма серы в гумусовых горизонтах входит в состав органических соединений, а в минеральных – в состав сульфидов.

На сегодняшний день проблема дефицита доступной для растений серы получила широкий резонанс. В исследованиях В.Г. Хала (2001) в Волгоградской области около 60 % площадей обрабатываемых земель имеют низкое содержание минеральной серы. В Камчатке около 73 % пахотных почв следует отнести к категории низко обеспеченных (менее 6 мг/кг) и только 27 % – к средне- и хорошо обеспеченным по сере. Большая разница в содержании различных форм серы (высокое – валовой и низкое – подвижной) объясняется тем, что основная часть серы находится в сульфидной форме, которая весьма устойчива к факторам выветривания в зоне гипергенеза и недоступна в качестве источника питания для растений.

В монографии В.Н. Слюсарева (2007) приводятся исследования многих ученых о содержании серы в почве: «... Содержание серы составляет 0,09 % в литосфере и 0,085 % в почвах (Возбуцкая А.Е., 1964). Однако есть и другие сведения о содержании этого элемента в почвах: 0,1 % SO_3 или 0,04 % серы (Панников В.Д., Минеев В.Г., 1977). Среднее содержание ее в земной коре по Ф.У.Кларку составляет 0,06 % (Никитишен В.И., 1983). В почвах сера встречается в двух формах: минеральной и органической. Р.Х. Айдинян (1975) относил серу к минеральной форме, которая извлекается 0,2н раствором соляной кислоты в виде слаборастворимых и легкорастворимых форм. Н. Bergseth (1978) определял органическую серу по разности между валовой и суммой легкорастворимых и адсорбированных сульфатов. В гумусово-аккумулятивных горизонтах сера, связанная с

органическим веществом почвы, составляет 70–90 % ее валового содержания (Айдинян Р.Х., 1964). Она входит в состав всех групп гумусовых веществ: фульвокислот, гуминовых кислот, гумина (Возбуцкая А.Е., 1964, Орлов Д.С, 1992). Количество серы в гуминовых и фульвокислотах составляет: для черноземов – 57 %, для темно-серых лесных почв – 51 %, а для дерново-подзолистых почв – 46 % валового содержания элемента (Айдинян Р.Х., 1964). Органическая форма серы представлена сульфгидрильными соединениями аминокислот, белков и гумусовых кислот, а также тио-эфирами. Легкорастворимые и адсорбированные сульфаты являются основным источником доступной серы для растений (Bergseth Н., 1978). Количество их меняется в зависимости от гранулометрического состава, обменных катионов и природы глинистых минералов, а также связано с окислами железа и, особенно, алюминия. Слаборастворимые сульфаты представлены соединениями бария и стронция. На карбонатных почвах сера, связанная с карбонатами кальция (окклюдированная), может составить 95 % от ее общего содержания ...».

Главным источником серы в почвах, как отмечают А.А. Коротков, О.А. Бурков (1994), являются почвообразующие породы. На содержание серы в почвах существенным образом могут повлиять атмосферные осадки, ирригационные процессы, использование серосодержащих пестицидов и удобрений. Интенсификация сельского хозяйства может оказать влияние на уменьшение поступления серы в почву, т.к. снижается содержание сернистых соединений в атмосферных осадках, увеличивается вынос серы с урожаем и т.д. Так, например, вынос серы из дерново-подзолистых почв с фильтрующимися водами может достигать 50–100 кг/га. При этом вымывание серы весной из гумусового и оподзоленного горизонтов происходит в одинаковых масштабах, после чего происходит значительный рост выноса из гумусового горизонта в период вегетации и заметно меньший – из оподзоленного, что объясняется, очевидно, ее высоким содержанием в

растительных остатках и возможно поступлением данного элемента из атмосферы.

Общее содержание серы в почвах обусловлено в первую очередь составом почвообразующих пород, а распределение по профилю – характером почвообразования. Содержание серы в почвообразующих породах варьирует в широких пределах. Так, в гумусовых горизонтах зональных почв Степи и Лесостепи Западной Сибири общее содержание серы изменяется в пределах от 0,08 до 0,62 %, что во многом связано с особенностями почвообразующей породы. Вниз по почвенному профилю количество серы постепенно снижается, если почвообразующая порода не содержит гипса. Основной запас серы (до 90 % и более) в пахотных горизонтах незасоленных почв сосредоточен в их органическом веществе. В доступное для растений состояние сера переходит лишь при минерализации органического вещества и окислении высвобождаемых восстановленных соединений до сульфата.

В.Н. Слюсарев (2007) отмечает, что распределение валовой серы по профилю почв различных типов имеют свои особенности, и находится в тесной связи с изменением содержания гумуса и распределением фракций механических элементов. С уменьшением количества гумуса вниз по профилю к почвообразующей породе убывает и содержание серы. В почвообразующих породах содержание серы остается более или менее постоянным, хотя это постоянство может быть нарушено появлением гипсоносных слоев и скоплений других солей, содержащих серу.

Р.Х. Айдинян (1964) пришел к выводу, что черноземы и торфяно-луговые почвы характеризуются высоким содержанием валовой серы, а дерново-подзолистые менее богаты этим элементом. Особенно мало серы в почвах песчаного и супесчаного гранулометрического состава, а также в почвах, подвергшихся смыву.

В работах И.У. Вальникова (1971, 1974, 1981) было детально изучены формы серы в черноземах Среднего Поволжья. В выщелоченных и типичных

черноземах этого региона с содержанием гумуса 6,4–9,6 % количество серы составляет 50–90 мг/100г почвы. В пахотных горизонтах черноземов Поволжья 97–98 % от валового содержания серы приходится на долю недоступной для растений резервной серы. Количество минеральной и подвижной серы составляет соответственно 1,10–1,82 и 0,43–0,80 мг/100 г. Вниз по профилю содержание этих форм серы несколько увеличивается и достигает максимума в почвообразующих породах. Несколько меньшее содержание валовой серы в карбонатных черноземах Татарстана. При количестве гумуса, равном 7,8–8,3 %, содержание серы в них составляет всего 43–56 мг/100 г почвы, а в почвообразующей породе оно остается относительно постоянным и колеблется в пределах 18–24 мг/100 г. В слитых черноземах Чувашии валовой серы содержится 51–62 мг/100 г почвы. Недоступная для растений сера составляет 97 % общей. К материнским породам ее содержание уменьшается.

По данным исследований З.К Крупской (1974) в черноземах Донецкой области в пахотном слое валовой серы содержится 158 мг/100 г. Это было связано с её техногенным накоплением. Органическая сера составляла 85–90 % от общей серы. Содержание сульфатной серы изменялось от 1,2 до 6,3 мг/100 г почвы.

В черноземах Харьковской области (Сырый Н.М., 1973) содержание серы составляет валовой 41,0–41,2, органической 36,0–36,6 и сульфатной 4,2–5,2 мг/100 г почвы.

Низкое содержание валовой серы отмечено в каштановых почвах Волгоградской области (Оголева В.П., 1976). В пахотном слое светло-каштановых и каштановых почв количество ее составил 26,5–32,1 мг/100 г, а в темно-каштановых – 34–37 мг/100 г. На долю органической формы элемента приходилось 84–86 % его валового содержания. Количество сульфатов здесь достигало 5,6 мг/100 г почвы. Вниз по профилю этих почв содержание серы уменьшается за исключением светло-каштановых

солончаковых почв и солонцов, в которых содержание элемента нарастает вниз по профилю.

В отличие от других типов почв серые лесные почвы отличаются низким содержанием валовой серы. В работе И.У Вальникова (1973) указано, что в Башкирии верхний горизонт этого типа почв содержит серы от 9 до 35 мг/100 г и их количество уменьшается вниз по профилю. В почвообразующей породе их количество всего 5–8 мг/100 г. Количество органической серы с глубиной уменьшается, однако гумус иллювиальных горизонтов насыщен серой больше по сравнению с верхними горизонтами. Количество минеральной серы колеблется здесь от 1,0 до 1,67 мг/100г, вниз по профилю ее количество увеличивается. Содержание легкорастворимой серы в верхних горизонтах составляет 0,55–0,66 мг/100 г.

Пахотный слой дерново-подзолистые почвы содержит валовой серы примерно столько же, сколько в серых лесных почвах. Их количество колеблется от 17,9 до 27,6 мг/100 г почвы (Вальников И.У. и др. 1973). Максимальное содержание валовой серы отмечается в перегнойном и иллювиальном горизонтах. Количество резервной серы в пахотном слое составляет 85–95 % от валового содержания, уменьшается в горизонте A_2 и увеличивается в иллювиальном горизонте. Количество минеральной и легкодоступной растениям серы в этих почвах невелико и увеличивается вниз по профилю. Близкие результаты по содержанию форм серы в лесных лесостепных и степных почвах получены почвоведом Сибири (Маслова И.Я., 1993).

Как отмечает в своей работе В.Н. Слюсарев (2007), «...максимальное количество валовой серы в почвах наблюдается в гумусово-аккумулятивном горизонте. Если же в почве происходит перераспределение минеральных коллоидов – вымывание полуторных окислов, то наблюдается второй максимум содержания серы в иллювиальных горизонтах. Количество минеральной серы в почвах, за исключением засоленных, относительно невелико. Основная же часть соединений этого элемента представлена

недоступными для растений резервными формами. Сера гумусовых веществ исследована слабо и в каждом отдельном типе почв требует дальнейшего исследования. Канадские ученые, исследуя гумусово-аккумулятивные горизонты бурых, серых лесных почв и черноземов, пришли к выводу, что формы серы могут служить индикатором природы фракций органического вещества почвы, но они не являются аналогом азота в формировании и трансформировании гумуса (Bettany J., 1979). Австралийские и английские ученые установили, что органическая сера имеет тесную коррелятивную связь с содержанием углерода и азота. Соотношение C : N : S в среднем равно 140 : 10 : 13 и мало меняется для отдельных видов почв...».

Вопросы содержания валовой и минеральной серы в некоторых почвах отражены в работах Е.В. Тонконоженко и его учеников (Тонконоженко Е.В., 1987, 1989; Слюсарев В.Н., 1989, 1999; Ха Куанг Хай, 1983).

В органическом веществе почв соотношение азота и серы более узкое, чем требуется растениям, 8–10, а в растительных белках оно составляет 14–17, т.е. органическое вещество почв по сравнению с химическим составом растений обогащено серой. Если эти элементы высвобождаются при минерализации органического вещества в той же пропорции, в какой они находятся в нем, то в почве создается некоторый избыток минеральной серы в сравнении с минеральным азотом относительно потребности растений. При внесении небольших доз азота этого избытка оказывается достаточно для сбалансированного питания растений. Но когда вносят большие дозы азота, и отношение N:S превышает 17, возникающий дефицит серы, который называют относительным, может быть причиной как недобора урожая, так и снижения качества зерна (Маслова И.Я., 2010).

По словам А.Н. Аристархова (2007) исследования плодородия почв России показывают недостаточное содержание сульфатной серы в почвах сельскохозяйственных угодий практически всех регионов и отрицательную ее динамику. Следовательно, недостаток серы в агроценозах может быть

одним из существенных факторов, ограничивающим продуктивность сельскохозяйственных культур.

Баланс серы в земледелии складывается за счет поступления с атмосферными осадками и удобрениями, потерями вследствие выщелачивания и выноса её с урожаем сельскохозяйственных культур. Положительный баланс серы достигается применением серосодержащих удобрений. О положительном действии серосодержащих удобрений (сыромолотый гипс, элементарная сера, нефтяная сера) на агрохимические свойства почв Республики Татарстан отмечали такие исследователи как В.Г. Братчиков (1976), Г.С. Егоров (1982), И.А. Гайсин (1989), П.И. Фомин, И.У. Вальников (2003), И.Р. Сулейманов, М.Ю. Гилязов (2010) и другие.

Г.Я. Елькина (2010) изучала содержание серы в подзолистой почве, вынос ее растениями при разных системах применения удобрений и оценивала связи между параметрами круговорота элемента и продуктивностью. Было выявлено, что переход на безбалластные удобрения привел к дефициту серы в агроценозах на подзолистых почвах. Применение серосодержащих удобрений позволило ликвидировать недостаток серы для сельскохозяйственных культур, повысить продуктивность и улучшить качество растительной продукции. Г.Я. Елькина рекомендует применение серосодержащих удобрений, прежде всего при возделывании требовательных к сере культур (картофель и бобовые травы) и включение серы в состав комплексных минеральных удобрений.

С.И. Новоселов, А.В. Иванова и др. (2016) изучали влияние минеральных удобрений на баланс серы в севооборотах с различными видами паров в условиях дерново-подзолистых почв. Исследованиями установлено, что баланс серы в севооборотах был отрицательным. При применении расчетных доз удобрений с ростом урожайности увеличивался вынос серы, что приводило к возрастанию дефицита. Пришли к выводу, что для обеспечения бездефицитного баланса серы в дерново-подзолистой почве

необходимо в севооборотах применять органические и серосодержащие удобрения.

По данным агрохимического обследования почв Республики Марий Эл около 40 % почв имеют низкую обеспеченность серой, 38 % – среднюю и только 22 % – высокую (табл. 1).

Таблица 1 – Обеспеченность почв Республики Марий Эл серой (по состоянию на 2012 г.)

Район	Низкое < 6 мг/кг, га	Среднее 6-12 мг/кг, га	Высокое > 12 мг/кг, га	Общая площадь, га	Среднее содержание мг/кг
Волжский	5716	10338	12388	28442	10,41
Горномарийский	6620	17845	10542	35007	9,67
Звениговский	16239	2047	348	18634	4,74
Килемарский	2406	5122	6290	13818	10,69
Куженерский	9405	19113	15564	44082	9,84
Мари-Турекский	19815	39994	21048	80857	8,96
Медведевский	17595	15442	3678	36715	7,10
Моркинский	7586	21272	20509	49367	10,57
Новоторьяльский	38472	14413	6170	59055	6,27
Оршанский	30522	12117	1814	44453	5,77
Параньгинский	21247	19147	4380	44774	7,12
Советский	26769	16712	7357	50838	7,09
Юринский	952	1226	3813	5991	11,87
По РМЭ	203344	194788	113901	512033	8,18

В настоящее время агроэкологические проблемы серы в Российской Федерации всё больше привлекают внимание отечественных учёных (Беспалов А.Л., 2004; Слюсарев В.Н., 2006, 2007, 2008, 2014, 2016; Маслова И.Я, Якушева Т.Г., 2004; Танделов Ю.П., 2005; Убугунов Л.Л., 2000;

Алыков Н.М., 2003; Байбеков Р.Ф., 2012; Копчик Г.Н., 2003; Оганесова О.А., 2013; Шеуджен А.Х., 2014, 2015; Тишков Н.М., 2014).

Таким образом, для обеспечения положительного баланса серы в почве необходимо применять органические и серосодержащие минеральные удобрения.

1.3. Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур

Многие исследователи (Вальников И.У. и др., 1973; Кардиналовская Р.И., Лазурский А.В., 1977; Шкель М.П., 1979; Никитишен В.И., Дмитриева Л.К., 1983; Маслова И.Я., 1987; Кулаковская Т.Н., 1990; Панасин В.И. и др., 1999; Аристархов А.Н., 2000; Шеуджен А.Х., 2005; Слюсарев В.Н., 2007; Wrigley С.В. et al, 1984; Byers M., Bolton J., 1979 и др.) утверждают, что серосодержащие удобрения положительно влияют на качество урожая: повышается содержание белкового азота в зерне колосовых, зернобобовых культур, в семенах рапса, льна; содержание жира в семенах подсолнечника; количество крахмала в клубнях картофеля; увеличивается содержание сахаров в корнях и листьях сахарной свеклы, брюквы, в листьях и корзинках подсолнечника, в плодах томатов. Механизм действия серного питания растений на качество продукции исследователями объясняется, как правило, увеличением содержания серы в растениях. Большим экспериментальным материалом это подтверждено на дерново-подзолистых почвах Белоруссии (Фомин П.И., Фомина О.Г., 1975; 1976; Фомин П.И. и др., 1972; Вальников И.У. и др., 1973; Шкель М.П. и др., 1979; Церлинг В.В. и др., 1972; Панасин В.И. и др., 1999 и др.).

На не известкованной почве под влиянием серного удобрения в растениях возрастает содержание и накопление всех форм азота, но в большей мере небелкового. На известкованной почве увеличивается

содержание в растениях белкового и общего азота и снижается содержание небелковых форм (Церлинг В.В. и др., 1972, 1973; Фомин О.Г. и др., 1979 и др.).

Исследования многих ученых указывают, что внесение серы в дозах 20–100 кг/га в формах гипса, фосфогипса и других удобрений увеличивает урожай зерна на 1,0–2,0 ц/га, а в отдельных случаях и на 7–10 ц/га. При этом, возрастает процент белка в зерне и сбор белка с единицы площади (Кардиналовская Р.И., 1984; Хоменко А.Д., 1983; Шкель М.П., 1979, 1982).

Особую важность представляют исследования по эффективности серосодержащих удобрений под озимую и яровую пшеницы, особенно с точки зрения повышения их качества. В перспективе следует ожидать, что приёмы внесения серосодержащих удобрений могут быть обязательными элементами технологий выращивания ценных сортов пшеницы. Так, в опытах на чернозёмах Украины под влиянием серных удобрений урожай пшеницы увеличивался на 4,5 ц/га, количество белка возрастало на 2 % (Хоменко А.Д., 1978, 1983). Отмечены изменения в белковых фракциях пшеницы – увеличение количества глютелинов и глиадинов. Содержание клейковины повышалось на 3–5 %.

Аналогичные данные получены на южных чернозёмах с сортами озимой мягкой пшеницы Кавказ и Одесская 51 и твёрдой – Леукомелан 165/70 в опытах Одесской (Виткаленко Л.П. и др., 1981, 1983) и на выщелоченных чернозёмах Драбовской (Предко И.Г., Шаповал И.С., 1983) опытных станциях. Наибольшие прибавки урожаев зерна пшеницы достигали 4,3–5,0 ц/га (8–13 %) преимущественно от внесения серы в дозе 30 кг/га, при диапазоне изучаемых норм – 30–90 кг/га.

Серные удобрения могут обеспечивать ещё большее повышение урожая и белка, если их вносить на высоких фонах NPK и под интенсивные сорта пшеницы, способные усваивать большие дозы питательных веществ (Хоменко А.Д., 1983). При этом следует учитывать такой установленный факт, что при увеличении доз азота без внесения серы на

определённом этапе может возникать относительный дефицит серы, который вызывает глубокие изменения в характере продуктивного процесса пшеницы, приводящий к резкому снижению урожая и его качества (Маслова И.Я., 1980).

И. Р. Сулейманов (2011) отметил исследования М.П. Шкель (1979): «... Исследования на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах в севооборотах с участием озимой пшеницы Мироновская 808, также показали положительное влияние серосодержащих удобрений (сульфатов аммония и калия) на фоне известкования на урожай и качество этой культуры. Прибавка урожая зерна озимой пшеницы от серы в составе сульфата калия на фоне $N_{60}P_{90}K_{90}$ составляла 2 ц/га. При этом установлена более высокая эффективность нейтральных форм серосодержащих удобрений – фосфогипса, гипса и простого суперфосфата. Прибавки урожая зерна от фосфогипса достигали 2,4–3,4 ц/га при урожае на контроле 32,2 ц/га. Гипс по своей эффективности был близок к фосфогипсу. Применение простого суперфосфата вместо двойного позволяло получать прибавку урожая 1,7 ц/га при урожае на фоне $N_{60}P_{90}K_{90}$ 35,9 ц/га...».

Аналогичные данные получены ранее в исследованиях Латвийского НИИ земледелия и экономики сельского хозяйства. На дерново-подзолистой почве легкого гранулометрического состава в первой ротации севооборота прибавка урожая зерна пшеницы от внесения 100 кг/га серы в составе различных серосодержащих удобрений (на фоне $N_{60}P_{90}K_{90}$) составляла в среднем 4,7 ц/га (14 %), во второй – 3,5 ц/га (9 %) (Анспек П.И., 1974).

Высокая эффективность применения серосодержащих удобрений при возделывании пшеницы на почвах с низкой обеспеченностью серой получена также в исследованиях, проведённых в Австралии, Канаде, США, и других странах (Tisdale S.J., 1977; Beaton J.D., 1971; Tabatabai M.A., 1980; Randall P.J. et al., 1981; Zehler E., Kreipe H., 1981; Moss H.J. et al., 1981, 1983; Platou J.S., Frisch R.J., 1982 и др.). Причём целый ряд авторов приводят данные, свидетельствующие о более высоких прибавках урожаев зерна

пшеницы от внесения серосодержащих удобрений, чем те, которые достигнуты в России и других странах СНГ (Colwell J.D., Grove M.S., 1976, Tisdale S.L., 1982; Beaton J.D., 1971; Tabatabai M.A., 1980 и др). Так, в исследованиях, проведённых в Канаде применение серосодержащих удобрений в норме 22 кг/га S приводило к повышению урожая зерна пшеницы на 21 % (5,1 ц/га) и 28 % (6,2 ц/га) (Beaton J.D., 1971). По данным института калия и фосфора США, применение серы в составе удобрений увеличивало урожай пшеницы в 25 полевых опытах в среднем на 10 ц/га (40 %). Аналогичные данные получены институтом серы США в 27 полевых опытах на почвах с недостатком серы – прибавка достигала 39 % при норме серы не более 34 кг/га (Beaton J.D., 1971; Tabatabai M.A., 1980).

Многими исследованиями установлены существенные изменения аминокислотного состава белков зерна пшеницы при внесении серы (Хоменко А.Д., 1983; Tisdale S.L., 1982 и др.). Так в полевых опытах Организации научных и промышленных исследований Содружества Наций (CSIRO), проведённых в Австралии, выращивали пшеницу 5-ти сортов при различной обеспеченности серой: 0,10–0,13 % (низкое) и 0,22–0,25 % (достаточное). В этих условиях дефицит серы в почвах обусловил увеличение соотношения N:S в зерне до 20–22 и значительное повышение концентрации аспарагиновой кислоты и аргинина, а содержание других важнейших аминокислот снижалось, особенно метионина и цистина (более чем в два раза). Уменьшение содержания серы в зерне приводило к изменению качественного состава глиадинов, которые являются одним из важнейших компонентов клейковины. При этом значительно уменьшалась доля глиадинов с низкой подвижностью и увеличилась их доля с высокой подвижностью (Wrigley C.W., 1984).

Аналогичные данные получены по яровой пшенице сорта Kleiber на Ротамстедской опытной станции (Великобритания). Максимальные урожай зерна и сбор сырого протеина отмечены при соотношении N:S в зерне около 15. Зерно с низким содержанием серы характеризовалось соотношением N:S

более 15. Количество треонина, лейцина и изолейцина в таком зерне было значительно меньше, а аспарагина больше, чем в зерне с нормальной концентрацией серы. При высоком уровне азотного и низком уровне серного питания содержание метионина и цистина в зерне было меньше в 2 раза (Byers M., Bolton J., 1979).

Установлено, что содержание серы в зерне влияет на мукомольные и хлебопекарные качества пшеницы. Из муки с низким содержанием серы получается тесто с меньшим растяжением, хлеб меньшего объёма, мякиш с более грубой структурой (Tisdale S.L., 1977, 1982; Wrigley C.W., 1984). Институтом хлеба в Австралии проведены детальные исследования влияния различных концентраций азота и серы на физические свойства теста и технологические свойства пшеницы. При внесении разных норм азота (0–100 кг/га N) и серосодержащих удобрений (0–50 кг/га S) показано, что между содержанием серы в зерне и временем образования теста, растяжением теста, объёмом хлеба и расплывчатостью хлеба (отношение упругости к растяжимости) имеется положительная корреляционная связь ($r > 0,7$ при $P < 0,001$) (Moss H.J. et al., 1981, 1983). Улучшение хлебопекарных свойств озимой пшеницы под влиянием внесения серы в составе различных удобрений также наблюдалось в исследованиях, проводимых в Канаде (провинции Альберта и Саскачеван) и в ФРГ (Beaton J.D., 1971). Так в опытах канадских учёных объём хлеба увеличивался с 592 до 715 мл, повышалась его оценка в баллах по цвету и пористости.

В исследованиях А.Д. Хоменко (1978, 1983) на черноземах Украины под влиянием серных удобрений урожай пшеницы увеличивался на 4,5 ц/га, а количество белка в зерне возрастало на 2 %. При этом отмечается увеличение количества глютеинов и глиадинов, а содержание клейковины повышается на 3–5 %. Аналогичные данные получены на южных черноземах с сортами озимой мягкой пшеницы Кавказ и Одесская 51 и твёрдой – Ледкомелан 165/70 в опытах Одесской опытной станции (Виткаленко Л.П. и др., 1981,

1983) и на выщелоченных черноземах Драбовской опытной станции (Предко И.Г., Шаповал И.С., 1983).

Исследованиями установлено, что уровень содержания серы в зерне влияет на мукомольные и хлебопекарные качества пшеницы: из муки с низким содержанием серы получается тесто с меньшим растяжением, хлеб меньшего объёма, а мякиш с более грубой структурой (Tisdale S.L., 1977, 1982; Wrigly C.W. et al., 1973). Улучшение хлебопекарных качеств зерна озимой пшеницы под влиянием внесения серы также установлено в Канаде (провинции Альберта и Саскачеван) и ФРГ (Beaton J.D., 1971).

Положительное влияние применения серосодержащих удобрений на урожай и качество сельскохозяйственной продукции отмечается в исследованиях с другими зерновыми культурами – ячменём, овсом, сорго и рисом. Так в полевых опытах Волынской областной станции химизации на дерново-подзолистых песчаных почвах от внесения 50 кг/га элементарной серы урожай ячменя сорта Нутанс 224 увеличивался с 41,4 до 44,9 ц/га, содержание белка в зерне на 0,8 % (Кузнецов Е.Н. и др., 1983). В исследованиях БелНИИЗа при использовании серы простого суперфосфата и фосфогипса содержание незаменимых аминокислот в зерне ячменя повышалось на 0,78–0,82 % (без внесения серы их сумма составляла 3,67 %), сумма всех аминокислот — на 1,37–1,60 % (без серы 10,93 %) (Шкель М.П., 1979). Очень высокие прибавки урожая зерна ячменя (до 50 %) от внесения серных удобрений установлены в США (Beaton J.D., 1971; Tisdale S.J., 1982).

Американские исследователи отмечали, что внесение серосодержащих удобрений положительно влияли на урожайность зерна ячменя, овса, сорго, риса и улучшение качественных показателей (Beaton J.D., 1971; Platou J.S., Frisch R., 1982). Также отмечается положительное влияние внесения серы на урожай овса, сорго и риса.

По данным В.А. Исайчева с соавторами (2016, 2017, 2018) в условиях среднего Поволжья было установлено положительное влияние

серосодержащих минеральных удобрений в комплексе с регулятором роста на урожайность зерна кормового ячменя.

Выявлены некоторые отличительные особенности применения серосодержащих удобрений под рис. Установлено, что из всех форм серосодержащих удобрений под эту культуру предпочтительно вносить простой суперфосфат и сульфат аммония. Применение элементарной серы менее эффективно в связи с неблагоприятными условиями для её окисления до сульфатов после затопления посевов. При этом наиболее оптимальной нормой серы под рис чаще рекомендуют 20–25 кг/га S (Wang С.Н., 1979). Прибавка урожая зерна риса от серы в составе различных удобрений достигает 12–45 %, а увеличение содержания протеина в зерне его различных сортов (С4–63, Delita 1/3 и Delita 1/2) – на 0,4 % (Jsmunadji M., Zulrarbraini L., 1978).

Элементарная сера эффективна при известковании, ее внесение способствует увеличению урожая зерновых, повышению содержания белка и клейковины (Серное питание и продуктивность растений..., 1983). Порошкообразная газовая сера в смеси с бентонитом и цеолитом, использованная в виде удобрения под картофель, дала прирост урожая 16 и 13 % соответственно и отмечено увеличение содержания сахаров и крахмала (Лагутченко С.В., Мухутдинов А.А., Сафина Н.Н. и др. 2001). При применении гранулированного удобрения, содержащего 93 % серы и 7 % бентонита под пшеницу было отмечено значительное увеличение зеленой и воздушно-сухой массы растений (Осацкий Л.Г., 2000).

Исследованиями Н.М. Алыкова, В.Н. Пилипенко, М.С. Бодня (2003) установлено что, применение серосодержащих удобрений стимулировало прорастание семян и развитие корневой системы подсолнечника, пшеницы и сои.

На прибавку урожайности озимой пшеницы от применения серы отметил А.С. Самотоенко (2011). Прибавка от внесения серы составила

11,7–15,7 % и установлено положительное влияние серы на содержание клейковины.

Некоторые ученые (Анспок П.И., 1973, 1990; Слуцкая Л.Д., 1972) отмечали увеличение зеленой массы, зерна кукурузы, корнеплода свеклы, клубней картофеля на 10–20 %, а в ряде случаев – и на 30 %. Действие серных удобрений, по сообщениям Э.Д. Владимировой (1974), Р.Ю. Мамедова (1978, 1981), положительно сказывается и на качество урожая этих культур. Так, в зерне и зеленой массе кукурузы повышается содержание протеина, жира, триптофана, валина, треонина, гистидина. Под влиянием серы интенсифицируется синтез углеводов: в корнях свеклы увеличивается содержание сахара (Анспок П.И., 1990; Чернова Л.М., 1978) и содержание крахмала в клубнях картофеля (Дмитриенко П.О., 1962; Мамедов Р.Ю., 1976).

Установлено, что в оптимизации питания картофеля важная роль должна отводиться сере (Кардиналовская Р.И., 1984; Чернова Л.М. и др., 1983; Zehler E., Kreipe H., 1981 и др.). Механизм повышения урожая клубней и их качества состоит не только в питании растений серой, но и в том, что этот элемент способствует лучшему поступлению из почвы и удобрений N, P, K, Ca, Mg и других элементов (Анспок П.И., 1973, 1976; Кардиналовская Р.И., Лазурский А.В., 1977; Шкель М.П., 1979 и др.). Этими же исследованиями показано также, что крахмалистость клубней от применения серосодержащих удобрений может увеличиваться на 1,5–2,0 %, а содержание каротина и хлорофилла в листьях – в 1,5–2 раза (Фомин П.И., Фомина О.Г., 1975), белка (с 3 до 3,9 %) и аскорбиновой кислоты в клубнях (в 2 раза) (Ramamurthy N., Devi L.S., 1982). Об увеличении содержания крахмала в клубнях картофеля под влиянием серы отмечено в работах Р.И. Кардиналовской (1984), А.Д. Хоменко (1983), Л.М. Чернова и др. (1983).

Под влиянием серы в клубнях картофеля идет накопление белкового азота и некоторое снижение общего, тогда как количество сахаров не

меняется. В листьях картофеля увеличивается как сумма сахаров, так и количество общего и белкового азота (Фомин П.И. и др., 1972).

Экспериментами в Латвии (Анспок П.И., 1973; Анспок П.И., Клуша А.Д., 1973) на дерново-подзолистых почвах показано, что замена в традиционных технологиях внесения под картофель аммиачной селитры на сульфат аммония, а хлористого калия – на сернокислый доводило содержание крахмала в клубнях до 16,7 % вместо 16,2 % – серосодержащих удобрений.

А.В. Иванова, В.В. Ефремов (2016, 2017) изучали влияние серосодержащих удобрений на урожайность клубней картофеля и зеленой массы викоовсяной смеси. Было выявлено, что в условиях дерново-подзолистой почвы применение серосодержащих удобрений обеспечивало увеличение урожайности клубней картофеля и зеленой массы викоовсяной смеси. Наибольшая урожайность клубней картофеля была получена при применении серосодержащих удобрений в дозе 60 кг/га серы. Максимальная урожайность викоовсяной смеси была получена с дозой серы 40–60 кг/га. Применение серосодержащих удобрений положительно сказалось на качестве клубней картофеля.

Учеными (Анспок П.И., 1987; Владимирова Э.Д., 1974; Шугля З.М., 1969; Влоет Elke., 2003) установлено, что содержащие серу удобрения способствуют более интенсивному поступлению азота, фосфора, калия, кальция, магния, серы и ряда микроэлементов в растениях кукурузы, сахарной свеклы, картофеля, рапса. Отмечено благоприятное влияние серных удобрений на рост и развитие зернобобовых культур (Анспок П.И., 1976; Морозов В.И. и др., 1976; Сырый Н.М., 1973) и бобовых трав (Владимирова Э.Д., 1974; Сырый Н.М., 1972).

При внесении серосодержащих удобрений (чаще всего гипса и элементарной серы в дозах 50–100 кг/га) урожаи зерна бобовых культур повышаются на 1,5–2,5 ц/га и больше, сена бобовых трав на 10–30 ц/га. В ряде регионов урожай семян бобовых трав, например, клевера, при

внесении серы возрастал в опытах Литовского НИИ земледелия с 2,9 до 3,4 ц/га, а Башкирского СХИ – с 2,8 до 3,3 ц/га (Сырый Н.М., 1970; Яппаров Ф.Ш., 1973; Анспок П.И., 1973). В опытах Белорусского НИИ земледелия под влиянием элементарной серы и фосфогипса вес сухой массы люпина повышался на 18–42% (Лебедев Е.А., 1973). В исследованиях Раменской опытной станции внесение серы повышало урожай надземной массы вики при песчаной культуре на 38%, гороха – на 39 %, клевера – на 94 % и люпина – на 156 %. Опыты также показали, что под действием серы увеличивалось содержание белка в урожае бобовых и его сбор с единицы площади (Смирнов Ю.А., 1985). В опытах НИИ кормов, выполненных с N 15 установлено, что использование растениями этого элемента из почвы и удобрений улучшается под влиянием серосодержащих туков. Кроме того сера активизирует жизнедеятельность клубеньковых бактерий и, следовательно, усвоение бобовыми растениями азота атмосферы (Ширшов В.А., Пайкова И.Н., 1968, 1969). В других исследованиях (Beaton J.D. et al., 1971; Фомин П.И. и др., 1976; 1977) получены аналогичные данные. По данным этих же авторов, под влиянием серы в урожае бобовых культур становится больше не только азота, но и фосфора, кальция, а также ряда микроэлементов – бора, цинка, меди и других.

Сера положительно влияет на фракционный и аминокислотный состав азотистых веществ в бобовых растениях. Так, в серии опытов с горохом и фасолью под действием серосодержащих удобрений в составе белков зерна этих культур увеличивалось количество водорастворимых и солерастворимых фракций, отличающихся хорошей усвояемостью для человека и животных (Кегля Г.М. 1971; Лавриненко Г.Т., 1968).

Сера способствует накоплению в бобовых растениях ценных (незаменимых) аминокислот – лизина, метионина и других (Владимирова Э.Д., 1974; Бамберг К.К., 1973; Анспок П.И., 1974; Coleman R., 1966; Hojjati S.M., 1976).

Выявлены факты существенного повышения урожаев бобовых культур на почвах с острым дефицитом серы. Так в США (штат Калифорния) урожай клевера при внесении серы увеличивается в 2–6 раз (без серы урожай был на уровне 5,7–13,7 ц/га, а с серой – 27,8–43,5 ц/га); аналогично в штате Орегон в среднем по 3-м опытам с люцерной суммарный урожай сена за 2 года наблюдений составлял 50,4 ц/га без серы, а по сере – 97 ц/га. Большое внимание внесению серы уделяется под бобовые культуры в странах с развитым животноводством (Австралия, Новая Зеландия). При этом обращено внимание на то, что сера увеличивает удельный вес бобовых в зернотравяных смесях (Слуцкая Л.Д., 1972).

В полевых опытах Харьковского СХИ применение меченой серы под ячмень, предшественник люцерны, повысило содержание протеина на 0,7–1,5 %, а сбор протеина – на 1,0–1,5 ц/га (Сырый Н.М., 1970). Как отмечали ряд ученых (Сырый Н.М., 1972; Яппаров Ф.Ш., 1973), что под влиянием серы в урожае бобовых культур становится больше не только азота, но и фосфора, кальция, а также ряда микроэлементов – бора, цинка и меди. В составе белков зерна гороха и фасоли отмечено увеличение хорошо усвояемых водорастворимых и солерастворимых фракций (Кореньков Д.А., 1985; Лавриненко Г.Т., 1968).

Я.В. Иваницкий, Ю.Ф. Осипов и В.И. Каленич (2011) установили, что влияние серы на продукционный процесс происходит опосредованно, через взаимодействие с другими факторами.

Под действием серы в бобовых растениях повышается интенсивность синтеза белковых веществ (Сырый Н.М., 1970; Фомин П.И. и др., 1971, 1972; Лавриненко Г.Т., 1968; Пайкова И.В., 1968; Сырый Н.М., Мамонтова Е.Г., 1973; Панасин В.И. и др., 1999 и др.). Так, в полевых опытах Харьковского СХИ внесение S_{10} в различных формах в рядки под горох увеличивало белковость зерна до 23,6 % (на контроле 20,9 %), а сбор белка до 4,4 ц/га (3,9 ц/га на контроле). Внесение S_{30} под ячмень, являющегося предшественником люцерны, повысило содержание протеина в сене

последней до 18,7–19,5 % (на контроле без серы 18 %), а сбор протеина до 6,7–7,1 ц/га (на контроле 5,6 ц/га) (Сырый Н.М., 1970; Сырый Н.М., Мамонтова Е.Г., 1973).

Аналогичные результаты получены в вегетационных опытах Красноярского СХИ. Содержание сырого протеина в зерне кормовых и бобовых культур при внесении серы составило 27,2–30,5 %, а без нее – только 23,5 % (Буганова А.Н. и др., 1969). По данным Всесоюзного НИИ растениеводства, содержание белка в зерне различных сортов гороха при внесении серы составляло 25,5–26,0 %, а на контроле 24,7–25,2 % (Лавриненко Г.Т., 1968).

В опытах ВИР и Молдавского НИИ почвоведения и агрохимии установлено, что под действием серосодержащих удобрений в составе белков зерна гороха и фасоли увеличилось количество водорастворимых и солерастворимых фракций, отличающихся хорошей усвояемостью для человека и животных (Кегля Г.М., 1971; Лавриненко Г.Т., 1968). Сера способствует накоплению в растениях ценных аминокислот (Coleman R., 1966; Tisdale S.L., 1977; Владимирова Э.Д., 1974). В полевых опытах с клевером, проведенных отделением химических и биологических наук АН Латвийской ССР, также подтверждено, что при внесении гипса значительно увеличивается сбор незаменимых аминокислот, из которых две – содержат серу (цистин и метионин).

Согласно данным Белорусского НИИ земледелия, при удобрении клевера фосфогипсом общий вынос питательных веществ с урожаем возрастал в 1,3–1,9 раза (Лебедев Е.А., 1973). Подобные результаты получены при использовании различных форм серосодержащих удобрений под горох, люцерну и клевер в полевых и вегетационных опытах Института биологии Башкирского филиала ЛИ СССР, Харьковского СХИ, Латвийского НИИ земледелия и экономики сельского хозяйства, Сельскохозяйственного института в Ольштыне (ПНР) (Яппаров Ф.Ш., 1973; Сырый Н.М., 1970; Анспок П.И., Клуша А.Д., 1973; Koter M., Yrzesiuk W., 1966). Под действием

серосодержащих удобрений и урожаев бобовых культур возрастало содержание не только макроэлементов, но также ряда микроэлементов (В, Си), что значительно повышает питательную ценность полученной продукции.

А.Н. Аристархов (2016) отмечал, что фундаментальные исследования агрохимиков, почвоведов и физиологов последних лет значительно расширили наши представления о многофункциональной роли серы в жизни растений и позволяют с наибольшей убедительностью определить, что систематическое и научно обоснованное применение серосодержащих удобрений – это неизбежная реальность современного высокопродуктивного сельскохозяйственного земледелия. Применение серосодержащих удобрений способствует: повышению урожая и улучшению качества растительной продукции, увеличению доступности растениям фосфора, кальция, марганца; увеличивает эффективность традиционных (NPK) удобрений. Доказано, что в своём специфическом действии на растения сера не может замещаться никаким другим элементом, даже родственным ей селеном, который лишь включается в органические структуры, но не выполняет физиологические функции последней. Необходимость этого элемента для жизнедеятельности растений доказана ещё в 1859 году Ю. Либихом. Однако применению серосодержащих удобрений уделялось (особенно в нашей стране) недостаточное внимание, т.к. считалось, что потребность в сере полностью удовлетворяется за счёт поступления её из атмосферы и присутствия этого элемента в других видах удобрений в качестве примесей – «балласта». В последние годы вследствие перехода промышленности на выпуск высококонцентрированных не содержащих серу удобрений и снижение её поступления в атмосферу с газообразными выбросами различных предприятий её целевое применение в виде специальных агрохимикатов стало абсолютно необходимым.

Сера имеет большое значение в малом биологическом и большом геологическом круговоротах веществ Земли. Содержание и закономерности

распределения этого элемента изучены далеко не во всех почвах. Наиболее развитые в аграрном отношении страны (США, Великобритания, Франция, Япония) наладили выпуск сложных и комплексных удобрений, сбалансированных не только по NPK, но и включающие серу, кальций, магний и другие, жизненно важные для питания растений элементы. В настоящее время наиболее интенсивно ведутся исследования в данном направлении учёными КНР, Индии, Ирана, Канады, Германии (Слюсарев В.Н, 2007).

В целом, можно заключить, что наблюдения, выполненные отечественными и зарубежными учеными (Лавриненко Г.Т., 1968; Вальников И.У., 1971; Исайчев В.А., 2016, 2017; Нортон Р., 2014; Beaton J.D. et al, 1971; Colwell J.D., Grove M.S., 1976; Herath H., Ormrod D., 1979 и др.) показывают, что внесение в почву серы способствует нарастанию массы различных сельскохозяйственных культур, увеличивает в листьях содержание каротина и хлорофилла, повышает интенсивность фотосинтеза и, в конечном счете, обуславливает рост продуктивности и повышение качества сельскохозяйственных растений.

2. УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Географическое расположение Республики Марий Эл

Республика Марий Эл расположена в центре Европейской части Российской Федерации средней части бассейна Волги между $57^{\circ} 20'$ и $55^{\circ} 51'$ с.ш. и $50^{\circ} 15'$ и $45^{\circ} 40'$ в.д. от Гринвичского меридиана.

Территория республики вытянута в широтном направлении: расстояние от крайней западной до крайней восточной точки составляет 275 км, от крайней северной до крайней южной – 150 км. Площадь территории республики – 23,2 тыс. км². Марийская республика граничит на севере с Кировской и Нижегородской областями, на западе – с Нижегородской областью, на юге – с Чувашской республикой, на востоке и юго-востоке – с республикой Татарстан.

Республика расположена в восточной части Восточно-Европейской равнины, в среднем течении Волги (155 км) преимущественно на левом берегу. Наиболее возвышенные участки расположены на северо-востоке республики. Отсюда идет понижение поверхности к долине реки Волги. Вдоль неё тянется широкой полосой центральная низина с множеством озер, болот и рек. Над долиной Волги крутым уступом возвышается высокое правобережье с глубокими оврагами и балками (Иванов Н.В., 1985).

2.2. Климат зоны и погодные условия в годы исследований

Климат Республики Марий Эл имеет легко выраженный умеренно-континентальный характер. Зима продолжительная и холодная, лето короткое, сравнительно жаркое и достаточно влажное. В климатическом отношении территория республики не однородна: побережье Волги несколько теплее, чем левобережье.

Средняя годовая температура воздуха Республики Марий Эл изменяется от 2,1–2,3 °С в восточной половине и до 3,3 °С на юго-западе республики. По тепло и влагообеспеченности, условиям перезимовки и другими элементами территорию Марий Эл подразделяют на три агроклиматических района (Агроклиматические ресурсы Марийской АССР, 1972).

Полевые опыты закладывали в условиях первого агроклиматического района. Условия агроклиматического района – умеренно теплые. Сумма активных температур выше +10 °С составляет 2000–2100 °С. Средняя температура января – 13,0–13,7 °С, средняя температура июля +18,2 °С. Переход температуры весной через 0 °С – 4–5 апреля, через +5 °С – 20–21 апреля, через – 10 °С 8–10 мая, через + 15 °С – 2–5 июня. Переход температуры воздуха осенью через +10 °С – 15–17 сентября, через +5 °С – 6–8 октября и через 0°С 27–29 октября. Сумма температур выше 0 °С 2400–2500, выше 5 °С – 2300–2400, выше 10 °С – 2000–2100, выше 15 °С – 1400–1500. Продолжительность периода с температурой выше 0 °С – 205–208, вегетационного – 167–171 дней. Период с температурой выше 10 °С длится 128–132 дня, с температурой выше 15 °С длится 80–85 дней. Абсолютный минимум температуры воздуха – 47–48 °С, абсолютный максимум 38 °С. Средняя дата прекращения заморозков в воздухе – 18–22 мая, самые поздние весенние заморозки бывают 11 июня, средняя дата первых осенних заморозков 16 августа. Средняя сумма осадков за год составляет 480–550 мм, а за апрель-сентябрь – 290–330 мм.

Метеорологические условия в годы проведения опытов в основном являлись типичными для зоны, но отличались по сумме выпавших осадков и среднесуточной температуре воздуха в течение вегетационного периода сельскохозяйственных культур от среднемноголетних показателей (табл. 2).

Таблица 2 – Метеорологические условия вегетационного периода 2010–2012 гг. (по данным метеостанции Йошкар-Ола)

Месяц	Среднесуточная температура воздуха, °С				Сумма осадков, мм.			
	2010г.	2011г.	2012г.	средняя многолетняя	2010г.	2011г.	2012г.	средняя многолетняя
Апрель	6,6	4,3	8,2	3,9	6	30	44	35
Май	16,6	13,6	14,6	11,9	21	27	31	45
Июнь	19,3	16,7	18,1	16,2	34	113	72	60
Июль	24,5	21,9	20,2	18,4	6	116	114	83
Август	20,5	17,6	17,6	16,2	83	5,3	98	60

Агрометеорологические условия в 2010 году были не благоприятными для возделывания сельскохозяйственных культур. Весна была ранняя, снег сошел к концу марта. В апреле погода была сухая и умеренно теплая. Это позволило проведение весенних полевых работ в ранние сроки. Резкое повышение температуры воздуха в конце апреля и начале мая приводило к повышению температуры в пахотном слое почвы и быстрому испарению влаги.

В конце мая и начале июня прошли кратковременные дожди, и температура стала соответствовать средним многолетним данным. В июле температура воздуха составила 24,5 °С, что выше средней многолетней температуры на 6,2 °С. Количество выпавших за июль осадков составило 6 мм, что составило 7,2 % от нормы. Август был теплым и влажным.

В апреле 2011 г. наблюдалась неустойчивая по температурному режиму погода с осадками в первой и второй декадах. 3 апреля произошел устойчивый переход среднесуточной температуры через 0 °С в сторону положительных значений. В среднем за апрель температура воздуха оказалась в пределах средних многолетних значений. Осадки наблюдались в виде мокрого снега и дождя. В сумме за месяц выпало 86 % нормы. В конце

третьей декады на делянках отмечалось возобновление вегетации озимой ржи. Это на неделю позже средних многолетних сроков.

В мае наблюдалась преимущественно теплая погода с недобором осадков. В среднем за май температура воздуха оказалась на 1,7 °С выше средних многолетних значений. Дожди в мае наблюдались редко. Только в III декаде выпало 128 % нормы, что за месяц составило 60 % осадков.

В июне наблюдалась неустойчивая по температурному режиму погода с ливневыми дождями и грозами. В среднем за июнь температура воздуха оказалась на 0,5 °С выше средних многолетних значений. Дожди в июне носили характер кратковременных ливней, были разными по интенсивности, часто сопровождалась грозами. В целом осадков выпало 188 % нормы.

Июль характеризовался теплой, в конце месяца аномально-жаркой погодой. В среднем за июль температура воздуха оказалась на 3,5 °С выше средних многолетних значений. Дожди в июле были ливневыми, разными по интенсивности. В первой декаде выпало 252 % нормы осадков. Это спровоцировало полегание озимой ржи на делянках с длительным применением минеральных удобрений. Во второй и третьей декадах осадков было в пределах нормы. В среднем за месяц выпало 140 % месячной нормы.

В августе была преимущественно сухая погода, с температурой воздуха в среднем на 1,4 °С выше средних многолетних значений. Осадков за две последние декады практически не было. В сумме за месяц их выпало всего 8,8 % нормы. В целом агрометеорологические условия вегетационного периода 2011 года были весьма благоприятными для возделывания озимой ржи.

В 2012 году агрометеорологические условия складывались удовлетворительно. В первой декаде мая наблюдавшиеся в отдельные дни дожди осложняли проведение полевых работ. И полевые работы начались позднее средних многолетних сроков. Условия для прорастания и появления всходов клубней картофеля были вполне благоприятными. Средняя за декаду температура почвы на глубине 10 см составила 11–12 °С. Увлажнение почвы

было благоприятным. Запас влаги пахотного слоя почвы составлял 37,5–41 мм. За декаду средняя температура воздуха составила 14,6 °С, что на 2,7 °С выше средних многолетних значений и относительная влажность воздуха составила 60 %.

В июне наблюдалась неустойчивая по температурному режиму погода с ливневыми дождями, грозами во II и III декадах месяца.

Июль характеризовался тёплой, в начале месяца аномально жаркой погодой. Дожди в июле были ливневыми, разными по интенсивности, но локальными.

В августе погода была преимущественно сухая. В целом агрометеорологические условия вегетационного периода 2012 года были близки к удовлетворительным, что обеспечило получение высокого урожая картофеля.

В 2013 году в мае наблюдалась неустойчивая по температурному режиму погода с кратковременными дождями (табл. 3).

Таблица 3 – Метеорологические условия вегетационного периода 2013–2016 гг. (по данным метеостанции Йошкар-Ола)

Месяц	Среднесуточная температура воздуха, °С					Сумма осадков, мм.				
	2013г.	2014г.	2015г.	2016г.	средняя много-летняя	2013г.	2014г.	2015г.	2016г.	средняя много-летняя
Апрель	-3,2	3	3,1	6,8	3,9	30	19	21	48,9	35
Май	14,8	15,9	15	14,5	11,9	22	21	16,9	10,7	45
Июнь	19,4	16,5	18	17,2	16,2	44	57	10,2	37,6	60
Июль	19,5	18,3	17	21,1	18,4	110	39	41,3	44,7	83
Август	18,3	18,8	18	21,8	16,2	73	77	21	51,4	60

Максимальная температура воздуха составляла в основном 15–20 °С, в отдельные дни выше 9–14 °С не была. В самые жаркие дни 15, 16, 25, 26 мая

температура повышалась до 25–30 °С. Температура воздуха ночью колебалась от +1...+6 °С до +7...+12 °С, в наиболее теплые ночи составляла 14–19 °С. Заморозки в воздухе интенсивностью -1...-2 °С наблюдались местами в восточных районах 3, 8, 22 мая. В травостое заморозки отмечались 19–20 мая, 22–23 мая в восточных районах республики интенсивностью -2...-4 °С. В среднем температура воздуха за май оказалась на 2,9 °С выше средних многолетних значений. Дожди были ливневыми, кратковременными, распределялись по территории неравномерно, в отдельные дни сопровождались грозами. С существенными осадками (1 мм и более) было 7–10 дней. Количество выпавших за июль осадков составило 22 мм, что составило 49 % от нормы.

В июне наблюдалась преимущественно теплая, временами жаркая погода с кратковременными дождями и грозами. Максимальная температура воздуха днем повышалась до 24–29 °С, 17 июня и в период 23–28 июня до 30–33 °С. В отдельные дни первой и второй декад она составляла 19–24 °С, в самый холодный день 5 июня не превышала 12–15 °С. В первой половине июня температура воздуха ночью колебалась от 5–10 °С до 11–14 °С. Теплыми ночи были во второй половине месяца, в среднем 15–20 °С. В среднем за месяц температура воздуха оказалась на 2,5–3,2 °С выше средних многолетних значений. Дожди в июне носили характер кратковременных ливней, были разными по интенсивности, сопровождались грозами. В сумме за месяц выпало 60–75 % нормы осадков.

В июле наблюдалась неустойчивая по температурному режиму, преимущественно теплая погода с кратковременными осадками. Максимальная температура воздуха составляла 24–29 °С, в течение 2–5 дней повышалась до 30–32 °С, несколько дней, преимущественно в третьей декаде, не превышала 18–23 °С. В ночные часы температура воздуха колебалась в пределах 10–15 °С, семь ночей в восточных районах понижалась до 4–9 °С. В среднем за месяц температура воздуха оказалась на 1,1 °С выше средних многолетних значений. Дожди в июле носили характер

кратковременных ливней, часто сопровождались грозами. В сумме за месяц выпало 100–160 % нормы.

В августе преобладала теплая погода с кратковременными дождями. В большую часть месяца температура воздуха днем составляла 22–27 °С, в самые жаркие дни повышалась до 28–31 °С. Умеренно-холодная погода наблюдалась в конце месяца: дневная температура воздуха не превышала 15–19 °С. Минимальная температура воздуха была в пределах 10–15 °С, в отдельные ночи составляла 17–20 °С. В период умеренно-холодной погоды температура воздуха ночью понижалась до 5–10 °С. В среднем за месяц температура воздуха оказалась на 1–2 °С выше средних многолетних значений. Осадки были кратковременными, в отдельные дни ливневыми. В сумме за месяц выпало 75–130 % нормы осадков.

В апреле 2014 г. наблюдалась неустойчивая по температурному режиму погода. В периоды умеренно холодной погоды температура воздуха днем не превышала 1–6 °С, в самые холодные ночи она понижалась до -9... -14 °С. Наиболее тепло было в третьей декаде апреля. В среднем за апрель температура воздуха оказалась около, местами на 1 °С ниже средних многолетних значений. Осадки были небольшими. Выпадали они в виде дождя, в период холодной погоды в виде мокрого снега. В сумме за месяц выпало 40–80 % нормы осадков.

Май характеризовался теплой, временами аномально-жаркой погодой с кратковременными похолоданиями. Аномально-жаркая погода наблюдалась во второй и третьей декадах мая, среднесуточная температура воздуха превышала норму на 7–11 °С. Максимальная температура воздуха повышалась до 26–31 °С. В остальные дни месяца температура воздуха днем составляла 15–20 °С, в отдельные дни 9–14 °С. В среднем температура воздуха за май оказалась на 4 °С выше средних многолетних значений. В большую часть мая было сухо. В сумме за месяц выпало 40-50 % нормы осадков.

Большую часть июня наблюдалась умеренно холодная погода с кратковременными дождями. В среднем за месяц температура воздуха оказалась в пределах средних многолетних значений. Дожди в июне носили характер кратковременных ливней, были разными по интенсивности, сопровождалась грозами, местами с градом, распределялись по территории республики неравномерно. В сумме за месяц выпало 85–160 % нормы осадков.

Июль характеризовался неустойчивой по температурному режиму погодой с недобором осадков. В среднем за месяц температура воздуха оказалась в пределах средних многолетних значений, как и в мае месяце. Большую часть месяца было сухо. Дожди в основном были небольшими, в отдельные дни отмечались ливни и грозы, которые распределялись по территории республики неравномерно. В сумме за месяц выпало 30–50 % нормы осадков.

Август характеризовался теплой, в отдельные дни жаркой погодой с частыми осадками. В среднем за август температура воздуха оказалась на 2,6 °С выше средних многолетних значений. Осадки наблюдались в большую часть месяца, распределялись по территории неравномерно, носили в основном ливневый характер. В сумме за месяц выпало 120–145 % нормы осадков.

В большую часть апреля 2015 г. наблюдалась умеренно холодная погода. Максимальная температура воздуха составляла в основном 5–10 °С, в конце месяца повышалась до 22–27 °С. Минимальная температура воздуха колебалась от -5 °С до +5 °С. В среднем за апрель температура воздуха оказалась на 0,5–1 °С ниже средних многолетних значений. Осадки наблюдались в виде мокрого снега и дождя.

В мае наблюдалась преимущественно теплая погода с недобором осадков. В среднем за май температура воздуха оказалась на 3,1 °С выше средних многолетних значений. Дожди в мае наблюдались редко.

В июне наблюдалась неустойчивая, преимущественно теплая, в отдельные дни аномально жаркая погода, отмечались резкие изменения температуры воздуха. В среднем температура воздуха оказалась на 1–2 °С выше средних многолетних значений. Осадки наблюдались в течение месяца, носили в основном ливневый характер, распределялись по территории республики неравномерно. Сильные дожди наблюдались местами во второй половине месяца. В сумме за месяц выпало 45–144 % нормы осадков.

В июле наблюдалась умеренно холодная погода. Максимальная температура воздуха составляла 20–25 °С, в самые теплые дни повышалась до 26–30 °С, несколько дней выше 16–19 °С не была. Ночи для июля были холодными. В течение двух ночей температура воздуха понижалась до 4–8 °С. В среднем температура воздуха оказалась на 1–2 °С ниже средних многолетних значений.

В августе наблюдалась неустойчивая по температурному режиму погода с осадками в течение месяца. В первой половине месяца и в отдельные дни третьей декады максимальная температура воздуха составляла 20–25 °С, в самые холодные дни не превышала 11–13 °С. В восточных районах республики наблюдались заморозки -1...-4 °С. В среднем температура воздуха оказалась на 1,8 °С выше средних многолетних значений. Дожди наблюдались в большую часть месяца, были разными по интенсивности, распределялись по территории республики неравномерно. В сумме за месяц выпало 70–160 % нормы осадков.

В апреле 2016 г. наблюдалась преимущественно теплая погода. Максимальная температура воздуха в первой половине месяца в отдельные дни была не выше 0–5 °С, в самые теплые дни повышалась до 17–22 °С. Минимальная температура воздуха до -1...-4 °С понижалась 2–9 раз. В среднем температура воздуха за апрель оказалась на 2,9 °С выше средних многолетних значений. Осадки от небольших до умеренных наблюдались в течение 14–15 дней в виде дождя и мокрого снега, которые распределялись

по территории республики неравномерно. В сумме за месяц выпало 140 % нормы осадков.

В большую часть мая наблюдалась теплая без осадков погода. Максимальная температура воздуха была в пределах от 15–20 °С до 21–25 °С. Аномально жаркая погода наблюдалась в конце мая с температурой воздуха 28–31 °С. Заморозки отмечались местами на почве и травостое интенсивностью -1...-4 °С. Теплыми были ночи в третьей декаде: температура воздуха в основном составляла 11–16 °С. В среднем температура воздуха за месяц оказалась на 2,6 °С выше средних многолетних значений. Осадки наблюдались редко, в основном были небольшими. В сумме за месяц выпало 24 % нормы осадков.

В июне наблюдалась неустойчивая по температурному режиму погода с недобором осадков. Максимальная температура воздуха составляла 20–25 °С, в отдельные дни повышалась до 26–31 °С. В самые холодные дни дневная температура воздуха колебалась от 11 °С до 19 °С. Ночи были холодными в основном в первой половине месяца: температура воздуха составляла 7–12 °С, несколько ночей понижалась до 1–6 °С. С середины месяца ночи стали теплее. В среднем температура воздуха за июнь оказалась около, местами на 1 °С выше средних многолетних значений. Дожди были разными по интенсивности, распределялись по территории республики неравномерно. В сумме за месяц выпало 63 % нормы осадков.

Июль характеризовался теплой, в отдельные дни жаркой погодой с недобором осадков. Максимальная температура воздуха составляла 24–29 °С, несколько дней повышалась до 30–34 °С, в самые холодные дни колебалась от 17 °С до 23 °С. В течение 1–4 ночей температура понижалась до 10–11 °С. В среднем температура воздуха в июле оказалась на 2,7 °С выше средних многолетних значений. Дожди были разными по интенсивности, распределялись по территории республики неравномерно. В сумме за месяц выпало 54 % нормы осадков.

В большую часть августа наблюдалась жаркая, временами аномально-жаркая погода с недобором осадков. Максимальная температура воздуха составляла 24–29 °С, в период аномально-жаркой погоды повышалась до 30–35 °С, в конце августа не превышала 15–19 °С. Ночи были теплыми. Минимальная температура воздуха в большинстве районов в самую холодную ночь понижалась до 0–4 °С. Средняя температура воздуха за август оказалась на 5,6 °С выше средней многолетней. Дожди в августе носили локальный характер, распределялись по территории республики неравномерно, были разными по интенсивности. В сумме за август выпало 51,4 % нормы осадков.

В целом агрометеорологические условия вегетационного периода 2010–2016 гг. были весьма благоприятными для возделывания сельскохозяйственных культур.

2.3. Схема опыта и методика исследований

Исследования проводили методами полевого и микрополевого опытов и лабораторных исследований. Полевые опыты были заложены на опытном поле, а микрополевой опыт – на агробиостанции Марийского государственного университета. Лабораторные исследования проводили в агрохимической лаборатории кафедры общего земледелия, растениеводства, агрохимии и защиты растений аграрно-технологического института.

Опыт 1. В полевом опыте изучали баланс серы в севооборотах с различными видами паров, который был заложен в 2010 году. 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: A_1 – с занятым паром; A_2 – с чистым паром; A_3 – 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: B_1 – без удобрений; B_2 – расчетные дозы удобрений на 4 т/га зерна озимой ржи ($N_{56}P_{35}K_{93}$), 20 т/га клубней картофеля ($N_{81} K_{140}$) и 3 т/га ячменя ($N_{18} K_{33}$). В опыте применяли минеральные удобрения, не содержащие серу (аммиачную селитру (34 % N), хлористый калий (60 % K_2O), нитроаммофоску ($N_{15}P_{15}K_{15}$)). Удобрения вносили согласно схеме опыта вручную под весеннюю обработку почвы.

Общая площадь делянки – 75 м² (5 м × 15 м), учётная – 52 м².

Почвенный покров опытного участка представлен дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой малогумусной на опесчаненном бескарбонатном покровном среднем суглинке почвой. Агрохимические показатели почвы при закладке опыта были следующие: содержание гумуса – 1,9 %; $pH_{\text{сол}}$ – 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 микрополевым опыте, который был заложен 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. $N_{90}P_{30}K_{120}$ (фон);
2. Фон + S_{30} (элементарная сера);
3. Фон + S_{60} (элементарная сера);
4. Фон + S_{90} (элементарная сера);
5. Фон + S_{30} (сульфат аммония);
6. Фон + S_{60} (сульфат аммония);
7. Фон + S_{90} (сульфат аммония).

Минеральные удобрения вносили в виде – аммиачной селитры (34 % N), хлористого калия (60 % K_2O), аммофоса (12 % N, 52 % P_2O_5), сульфата аммония (21 % N, 24 % S) и элементарной серы.

Удобрения вносили согласно схеме опыта вручную из расчета на 20 т/га клубней картофеля ($N_{90}P_{30}K_{120}$). Учетная площадь делянки составляла 7 м².

Почвенный покров опытного участка представлен дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой малогумусной на опесчаненном бескарбонатном покровном среднем суглинке почвой. Агрохимические показатели почвы при закладке опыта были следующие: содержание гумуса – 1,9 %; рН_{сол.} – 6,2, легкогидролизуемого азота – 110 мг/кг почвы, подвижных форм фосфора 217 и калия – 163 мг/кг почвы; подвижной серы – 2,5 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).

Общая площадь делянки – 90 м² (6 м × 15 м), учётная – 50 м².

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 ($N_0P_0K_{30}$).

Уборку урожая проводили в фазу цветения вики сплошным методом.

Почва опытного участка представлена дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой малогумусной 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 опытных культур – зональная, с применением набора машин и орудий, типичных для сельскохозяйственных предприятий республики, за исключением изучаемых вопросов.

Полевые и микрополевые опыты сопровождалась фенологическими наблюдениями за ростом и развитием растений согласно методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1985).

Перед закладкой опытов проводили агрохимическое обследование пахотного слоя почвы опытных участков. Показатели плодородия почвы определяли методами, рекомендованными ЦИНАО для зоны. Содержание гумуса по методу И.В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91), содержание легкогидролизуемого азота по Корнфилду в модификации

ЦИНАО (Минеев В.Г., 2001). Подвижные формы в вытяжке по методу Кирсанова: фосфора – колориметрическим методом, обменного калия – на пламенном фотометре (ГОСТ 26207-91); кислотность почвы $pH_{\text{сол.}}$ – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85), определение подвижной серы турбидиметрическим методом (ГОСТ 26490-85).

В период вегетации и перед уборкой урожая с каждого варианта в трех повторениях отбирали образцы растений для определения нарастания биомассы и её химического состава, а также элементов структуры урожая и показателей качества основной и побочной продукции. Уборку картофеля проводили вручную с поделяночным взвешиванием клубней с учетной площади.

В растительных образцах, после озоления по Гинзбургу, определяли общий азот фотоколориметрическим методом с использованием реактива Несслера, фосфор – фотоколориметрическим методом с аскорбиновой кислотой, калий – на пламенном фотометре. Для определения площади листовой поверхности применяли метод высечек. Содержание хлорофилла в листьях растений – с помощью фотоэлектроколориметра (ФЭК).

Содержание серы в растениях и атмосферных осадках определяли турбидиметрическим методом (ГОСТ 4389-72; Прижукова В.Г., 2004). Для расчета баланса серы использовали справочные данные по содержанию серы в семенах и ее вымыванию из почвы (Аристархов А.Н., 2007; Вальников И.У., 1977).

Вынос основных элементов питания (N , P_2O_5 , K_2O и S) с урожаем определяли расчетным методом по сбору основной и побочной продукции с учётом содержания в них основных элементов питания.

Расчет содержания сырого протеина в клубнях картофеля был проведен с помощью коэффициента перевода содержания общего азота – 5,7, в зеленой массе викоовсяной смеси – 6,25 (Минеев В.Г., 2001). Содержание крахмала в клубнях картофеля определяли с помощью пикнометра, нитраты

– потенциометрически с использованием ионо-селективного электрода, сухое вещество – термостатно-весовым методом.

Повторность аналитических определений – 3-х кратная.

Статистическую обработку результатов исследований проводили методом дисперсионного анализа (Доспехов Б.А., 1985), с применением пакета программ прикладной статистики «Stat» (версия 2.6, ИВЦ МарГУ, 1993).

2.4. Почвы региона и почвенный покров опытного участка

Республика Марий Эл входит в состав северо-восточного региона Нечерноземной зоны России. Почвенный покров республики складывается из большого числа видов почв, наиболее распространенными и составляющими основной фон почвенного покрова (85 % пашни) являются дерново-подзолистые различного механического состава (Смирнов В.Н, 1968). По данным В.М. Шорина (1990), доля среднесуглинистых малогумусных почв составляет 56,6 %.

Опытное поле Марийского государственного университета расположено в Медведевском районе Республики Марий Эл на территории Марийского аграрного колледжа – филиала Марийского государственного университета. Почва опытного поля дерново-слабоподзолистая малогумусная среднесуглинистая на бескарбонатном покровном суглинке.

Морфологическое описание почвенного разреза. Разрез заложен в южной части опытного поля, в средней части пологого склона юго-восточной экспозиции. Глубина разреза 200 см (Евдокимова М.А., 2013).

A_{max}	<u>0-29</u> см	Пахотный (P) горизонт; светло-серый, среднесуглинистый, пылевато-комковатый, влажный, уплотненный, обильно пронизан корнями трав, новообразований не отмечено, переход к горизонту A_2B ясный.
	29	
A_2B	<u>29-43</u> см	Переходный – элювиально-иллювиальный (BEL) горизонт; светло-бурой пестрой окраски с белесой присыпкой кремнезема, среднесуглинистый, ореховато-плитчатый, слоеватый в скоплениях кремнезема, свежий, плотный, корней значительно меньше, новообразования – присыпка кремнезема по граням структурных отдельностей, переход к горизонту B_1 постепенный.
	14	
B_1	<u>43-65</u> см	Иллювиальный горизонт (BT); серовато-бурый, тяжелосуглинистый, мелко-ореховатый, по граням присыпка кремнезема, свежий, плотный, корней меньше, новообразования – присыпка кремнезема по граням структурных отдельностей, Fe-Mn конкреции, переход постепенный.
	22	
B_2	<u>65-106</u> см	Иллювиальный горизонт (BT); бурый, тяжелосуглинистый, ореховатый, присыпки кремнезема по граням меньше, чем в горизонте B_1 , влажный, очень плотный, единичные корни, переход постепенный.
	41	
B_3	<u>106-164</u> см	Иллювиальный горизонт; желто-бурый, среднесуглинистый, ореховато-призматический, влажный, пористый, корней нет, переход постепенный.
	58	
C	<u>164-200</u> см	Материнская почвообразующая (C) порода; желтоватый, бесструктурный покровный легкий бескарбонатный суглинок, сырой, плотный.
	36	

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Баланс серы в севооборотах с различными видами паров

С ростом урожайности сельскохозяйственных культур возрастает и вынос питательных веществ урожаем, в том числе и серы. Недостаточное поступление серы в растения в течение вегетации служит причиной снижения урожая и качества зерна. В последние годы резко снизилось применение органических удобрений и серосодержащих минеральных удобрений. Данное обстоятельство приводит к обострению дефицита серы в земледелии и создает определенные трудности в обеспечении роста урожайности сельскохозяйственных культур (Сулейманов И.Р., 2011; Гилязов М.Ю. 2009). Поэтому при разработке системы удобрения отдельных сельскохозяйственных культур и в севообороте необходимо учитывать количественные показатели содержания и баланса серы.

Проведенные исследования показали, что эффективность минеральных удобрений и урожайности изучаемых культур в значительной степени зависели от вида севооборота (прил. 1).

Проведение химического анализа на содержание серы в растениях севооборота показало, что ее содержание в большей степени зависело от вида растений. Наибольшее содержание серы было в сухой массе викоовсяной смеси и составило 0,30 % (табл. 4). Содержание серы в зерне озимой ржи изменялось от 0,09 до 0,11 %. В соломе озимой ржи, выращенной без применения удобрений во всех севооборотах содержание серы было одинаковое и составляло 0,05 %. На фоне минеральных удобрений содержание серы в соломе озимой ржи в севообороте с занятым и с чистым паром увеличилось до 0,06 %, а в севообороте с сидеральным паром до 0,07 %. Содержание серы в клубнях картофеля изменялось от 0,14 до 0,16 %. Содержание серы в зерне ячменя изменялось от 0,13 до 0,15 %, а в соломе от 0,12 до 0,16 %.

Таблица 4 – Содержание серы в растениях, % на сухое вещество

Фактор		Вико- овсяная смесь	Озимая рожь		Картофель	Ячмень	
			зерно	солома		клубни	зерно
Вид севооборота	Удобрения	сено					
С занятым паром	Без удобрений	0,30	0,09	0,05	0,14	0,14	0,15
	НРК	0,30	0,11	0,06	0,14	0,14	0,14
С чистым паром	Без удобрений	–	0,10	0,05	0,16	0,13	0,13
	НРК	–	0,10	0,06	0,14	0,15	0,16
С сидеральным паром	Без удобрений	0,30	0,10	0,05	0,13	0,15	0,12
	НРК	0,30	0,11	0,07	0,14	0,14	0,14

Расчет выноса серы культурами севооборота показал, что максимальное количество серы 9,1 кг/га было вынесено клубнями картофеля в севообороте с чистым паром при применении минеральных удобрений и сухой массой викоовсяной смеси 9,0 кг/га (табл. 5). Вынос серы зерном озимой ржи выращенной без применения минеральных удобрений в севообороте с занятым паром составил 2,0 кг/га, с чистым паром 2,5 кг/га и с сидеральным паром 3,0 кг/га. При применении минеральных удобрений он увеличился на 2,5, 2,6 и 2,4 кг/га соответственно. Вынос серы соломой озимой ржи при этом возрос на 2,7, 3,1 и 3,8 кг/га соответственно.

Клубнями картофеля при выращивании его без применения удобрений выносилось серы от 6,0 до 7,2 кг/га, а при применении удобрений с ростом урожайности клубней он возрос до 7,6–9,1 кг/га.

Наименьшее количество серы 2,7 кг/га было вынесено зерном ячменя выращенного без применения минеральных удобрений в севооборотах с

занятым и с чистым паром. При возделывании ячменя в севообороте с сидеральным паром вынос серы зерном увеличился на 0,2 кг/га и составил 2,9 кг/га. Возделывание ячменя с применением минеральных удобрений привело к увеличению выноса серы соответственно на 0,7, 0,9 и 0,5 кг/га.

Таблица 5 – Вынос серы, кг/га

Фактор		Вико- овсяная смесь	Озимая рожь		Картофель	Ячмень	
			зерно	солома		клубни	зерно
Вид севооборота	Удобрения	сено	зерно	солома	клубни	зерно	солома
С занятым паром	Без удобрений	9,0	2,0	2,2	6,0	2,7	5,9
	НРК	9,0	4,5	4,9	8,4	3,4	6,8
С чистым паром	Без удобрений	–	2,5	2,5	7,2	2,7	5,3
	НРК	–	4,6	5,6	9,1	3,6	7,6
С сидеральным паром	Без удобрений	–	3,0	3,0	6,9	2,9	4,7
	НРК	–	5,4	6,8	7,6	3,4	6,8

Соломой ячменя выносилось серы больше, чем зерном. Это было обусловлено ее большей урожайностью. При возделывании ячменя на не удобренной почве вынос серы соломой составлял 4,7–5,9 кг/га, а при применении минеральных удобрений – 6,8–7,6 кг/га. В севообороте с занятым паром вынос серы соломой увеличился на 0,9 кг/га, с чистым паром на 2,3 кг/га и с сидеральным паром на 2,1 кг/га.

В расчете баланса серы в севооборотах с различными видами паров в приходной части учитывали поступления серы с атмосферными осадками и семенами, а в расходной – вынос питательных веществ с урожаем и выщелачиванием (табл. 6). При учете поступления серы с а атмосферными

осадками использованы данные полученные нами, которые отличались от ранее рекомендованных. По данным Казанского филиала Центрального института агрохимического обслуживания сельского хозяйства (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 поступающей 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 40 лет назад. 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 6 – Баланс серы за ротацию севооборота, кг/га

Фактор		Приход		Расход		Баланс
Вид севооборота	Удобрения	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.

Проведение агрохимического анализа почвы в конце ротации севооборотов после уборки ячменя выявило, что содержание серы изменялось от 6,70 до 7,50 мг/кг (табл. 7).

Таблица 7 – Содержание подвижной серы в почве в конце ротации, мг/кг (0-20 см)

Фактор		S, мг/кг
Вид севооборота	Удобрения	
С занятым паром	Без удобрений	7,50
	НРК	7,30
С чистым паром	Без удобрений	7,00
	НРК	6,90
С сидеральным паром	Без удобрений	7,02
	НРК	6,70

В почве севооборота с чистым паром содержание серы составило 7,00 мг/кг, с занятым паром – 7,50 мг/кг, а с сидеральным паром – 7,02 мг/кг. При применении минеральных удобрений с ростом урожайности увеличивалось потребление серы, что привело к снижению ее содержания в почве. В почве севооборота с чистым паром содержание серы уменьшилось на 0,10 мг/кг, с занятым паром на 0,20 мг/кг и сидеральным паром на 0,32 мг/кг почвы. Таким образом, максимальное количество подвижной серы 7,50 мг/кг было в не удобренной почве севооборота с занятым паром. Наименьшее количество подвижной серы 6,70 мг/кг почвы было в почве

севооборота с сидеральным паром на фоне применения минеральных удобрений. Это можно объяснить повышением урожайности сельскохозяйственных культур.

3.2. Влияние фотохимического фактора на содержание в почве доступной серы

Основным источником серы для растений является почва. Сера в почвах представлена как органическими, так и неорганическими соединениями. Неорганическая сера в почве представлена сульфатами почвенного раствора, адсорбированными сульфатами и серой минералов. По данным Д.С Орлова с соавторами (2002), наиболее доступная растениями сульфатная форма составляет 10–25 % от общего содержания серы. Органическую серу можно разделить на восстановленную серу, эфиры серной кислоты. Около 80–90 % серы в почве содержится в органическом веществе и лишь 10–20 % в виде минеральных соединений сульфатов Са, К, Mg и Na. При распаде органических остатков растений и животных может образовываться сероводород. Он так же образуется при восстановлении серной, сернистой и серноватистой кислот. Этот процесс происходит под воздействием бактерий, так и при воздействии водорода. Сероводород ядовит для растений, но при его окислении образуются соли серной и других кислот которые достаточно хорошо используются растениями. В зависимости от генезиса почв, их гранулометрического состава и содержание в них гумуса количество серы колеблется в широких пределах. При этом 89–98 % серы находится в недоступной для растений форме (Вальников И.У., Мишин А.М., 1974).

Установлено, что направление трансформаций соединений серы регулируется в основном факторами внешней среды. Её органические соединения могут быть разрушены и минерализованы. В определенных условиях восстановленные неорганические соединения серы подвергаются

окислению микроорганизмами, а окисление, напротив, могут быть восстановлены до сероводорода. Реакция окисления восстановленных соединений серы протекают в почвах довольно быстро при доступе атмосферного воздуха. Сульфиды и элементарная сера постепенно окисляются даже кислородом воздуха (Орлов Д.С. и др., 2002).

И.С. Кауричев (1982) своими исследованиями подчеркивал, что устойчивые неорганические соединения серы в почвах представлены в аэробных условиях сульфатами, в анаэробных – сульфидами. В засоленных почвах при усиленном окислительном режиме практически вся неорганическая сера находится в виде сульфатов. Часть сульфат-ионов может быть связана с гумусовыми веществами почвы. В органическом веществе безгипсовых и незасоленных почв сосредоточена значительная часть всей серы, в верхних пахотных горизонтах до 75–90 % серы представлено органическими соединениями. Главное значение среди них имеют сульфгидрильные группы аминокислот и белков, довольно много серы в гумусовых кислотах (от 0,1–0,3 до 0,8–1,0 %). Кроме сульфгидрильных групп, вероятно присутствие тиоэфиров.

В большинстве случаев фотохимическая деструкция высокомолекулярных соединений сопровождается процессами гидролиза и окисления за счет влаги и кислорода воздуха, активированными солнечной энергией, что придает реакции весьма сложный характер. При этом интенсивность и глубина протекающих процессов зависят от длины световой волны, интенсивности облучения, наличия ингибиторов или инициаторов, а также от природы полимера (Шур А.М., 1961).

Сера, подобно круговороту азота, проходит цикл окисления в почве и восстановления в растении. Оба элемента удерживаются в органических соединениях ковалентными связями с углеродом. Они недоступны растениям в элементной форме, а усваиваются ими только в стадии наивысшего окисления (SO_4^{2-} , NO_3^-). Гипс ангидрит являются основными сульфатами, а пирит и сфалерит – основными сульфидами почвы. В засоленных почвах

присутствуют сульфаты. Сера становится доступной для растений только в результате перехода ее в растворимые формы под воздействием микробиологических и химических процессов (Убугунов Л.Л., 2000).

M.D. Murphy (1990) отмечал, что в минерализации органического вещества принимают такие бактерии как бесцветные, окисляя его до элементарной серы и сульфатов. В анаэробных условиях роль в превращении органической серы до сероводорода принадлежит зеленым и пурпурным серобактериям.

С.И. Новоселовым (2013) было установлено, что под воздействием фотохимического фактора в почве увеличивается количество минерального и легкогидролизуемого азота, подвижных органических веществ и лабильных гумусовых веществ.

Таким образом, 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 (табл. 8). Время экспозиции облучения и компостирования составляло 336 часов.

Таблица 8 – Содержание подвижной серы в почве, мг/кг

Фактор	Без компостирования	С компостированием
Без облучения	2,25	6,75
С облучением	2,50	8,00

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. 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 (табл. 9). Следовательно, увеличение содержания серы за счет внесения элементарной серы составило 12,30 мг/кг или 36,9 кг/га.

Таблица 9 – Влияние компостирования на содержание подвижной серы в почве, мг/кг

Вариант	До компостирования	Через 2 недели компостирования	+, –
Контроль	2,25	5,60	–
S (из расчета 60 кг/га)	2,25	17,90	+12,30

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

3.3. Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество клубней картофеля в условиях дерново-подзолистых почв Волго-Вятского региона

3.3.1. Фотосинтетическая способность картофеля

Фотосинтетическая способность является основой продуктивности растений. По данным А.А. Ничипоровича (1966) для формирования высоких урожаев сельскохозяйственных культур площадь листовой поверхности должна составлять 40–50 тыс. м²/га. Слишком большая площадь листьев приводит к взаимному затенению и снижению формирования урожая в расчете на единицу площади листьев (Мальцев В.Ф, Каюмов М.К., 2002). Маленькая листовая поверхность не обеспечивает формирование высокой урожайности клубней. Данные полученные в результате исследований показали, что применение серосодержащих удобрений влияло на формирование листовой поверхности картофеля. Наименьшая листовая поверхность картофеля была сформирована на контрольном варианте. При применении серосодержащих удобрений площадь листовой поверхности картофеля возрастала (рис. 1, прил. 2). В 2013 году площадь листовой поверхности картофеля изменялось от 25,0 до 28,7 тыс. м²/га., в 2014 году – от 23,8 до 29,8 тыс. м²/га и в 2015 году – от 21,7 до 30,1 тыс. м²/га. Наибольшая площадь листовой поверхности картофеля была сформирована при применении элементарной серы в дозе 60 кг/га.

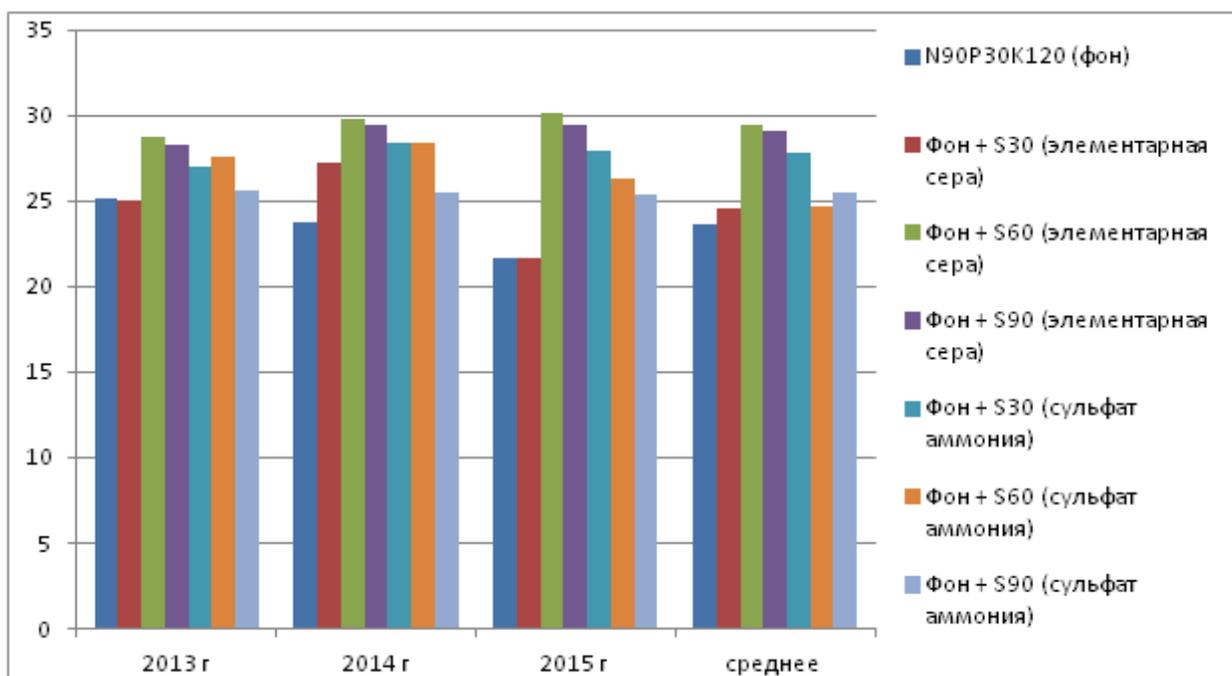


Рисунок 1 – Площадь листовой поверхности картофеля в фазе цветения, тыс. м²/га

В среднем за три года исследований площадь листовой поверхности растений картофеля в фазе цветения изменялась от 23,6 до 29,5 тыс. м²/га. Максимальная площадь листовой поверхности картофеля была сформирована при внесении элементарной серы в дозе 60 кг/га и составила 29,5 тыс. м²/га. При внесении сульфата аммония наибольшая площадь листовой поверхности была отмечена при дозе серы 30 кг/га и составила 27,8 тыс. м²/га.

Применение серосодержащих удобрений изменяло содержание хлорофилла в листьях картофеля (рис. 2, прил. 3). В 2013 году при внесении элементарной серы в дозе 30 кг/га содержание хлорофилла в листьях картофеля возросло на 39,6 мг/100 г и составило 289,5 мг/100 г. При внесении серы в дозе 60 кг/га содержание хлорофилла не изменилось и составило 286,5 мг/100 г, а при дозе серы 90 кг/га снизилось до 225,4 мг/100 г. Причиной снижения содержания хлорофилла в листьях, очевидно, являлось снижение концентрации азота в листьях картофеля. Проведение корреляционно-регрессионного анализа показало, что между содержанием азота в листьях и хлорофиллом была средняя

корреляционная связь. Коэффициент корреляции составил 0,55. Зависимость между показателями носила криволинейный характер и описывалась уравнением второй степени. Уравнение однофакторной регрессии имело вид $Y = 3060,1 * x - 446,91 * x^2 - 4985,9$. Где Y – содержание хлорофилла, мг/100 г сырой массы; x – содержания азота в листьях, %.

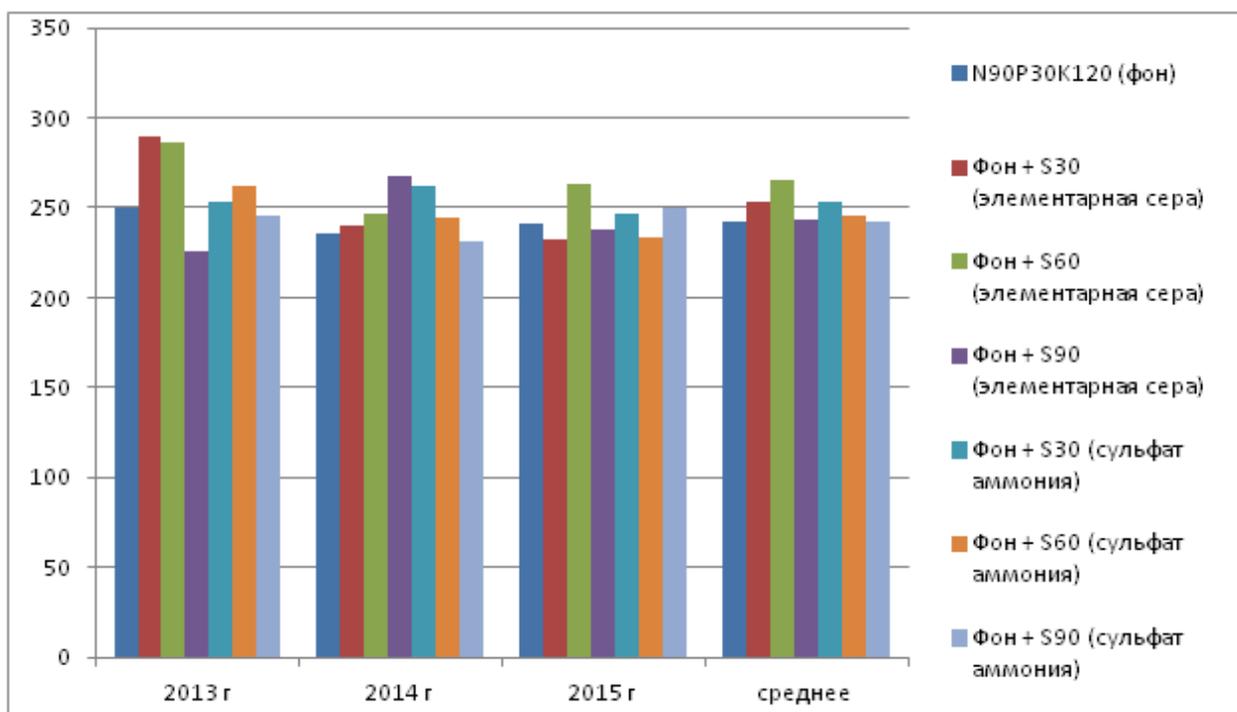


Рисунок 2 – Содержание хлорофилла в листьях картофеля, мг/100 г сырой массы

При внесении серы в виде сульфата аммония в дозе 30 и 60 кг/га наблюдалось увеличение содержания хлорофилла в листьях картофеля. В 2014 году наибольшее содержание хлорофилла в листьях картофеля наблюдалось при внесении элементарной серы в дозе 90 кг/га и составило 267,6 мг/100 г. При внесении серы в дозе 30 кг/га в виде сульфата аммония содержание хлорофилла было 261,6 мг/100 г. В 2015 году при внесении элементарной серы в дозе 60 кг/га содержание хлорофилла в листьях картофеля возросло на 21,5 мг/100 г и составило 262,9 мг/100 г. При внесении доз серы 30 и 90 кг/га увеличения содержания хлорофилла в листьях картофеля не наблюдалось. При внесении серы в виде сульфат

аммония в дозе 30, 60 и 90 кг/га содержание хлорофилла в листьях картофеля составило соответственно 247,2, 233,6 и 249,5 мг/100 г.

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. Наибольшее содержание хлорофилла было получено при внесении элементарной серы в 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.

Таким образом, серосодержащие удобрения влияли на 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.

3.3.2. Урожайность и качество клубней картофеля

Исследованиями выявлено, что сера играет положительную роль в формировании урожая и качества клубней картофеля. В Белоруссии прибавки урожая клубней от внесения 60–120 кг/га серы (в форме элементарной серы, гипса и фосфогипса) на дерново-подзолистых супесчаных почвах достигают 11–25 ц/га, а увеличение крахмалистости составляет 0,5–1,0 % (контрольные показатели по фону НРК – 248 ц/га и 17,2 %). При этом серосодержащие удобрения способствуют лучшему поступлению в растения не только серы, но также N, P, K, Ca и Mg (Шкель М.П., 1979). Аналогичные данные получены в Латвии (Анспек П.И., 1973) и на Украине (Кардиналовская Р.И., Лазурский А.В., 1977).

Л.И. Чернова и др. (1983) рекомендуют для получения максимальных урожаев клубней картофеля на легких почвах применять до 90 кг/га серы.

Установлено, что под влиянием серы в клубнях происходит не только увеличение содержания крахмала, но и белка и аскорбиновой кислоты (Кардиналовская Р.И, 1984; Хоменко А.Д., 1983; Чернова Л.М.,1983; Ramamurthy N, Devi L. S., 1982).

Данные полученные в результате наших исследований показали, что применение серосодержащих удобрений положительно влияло на урожайность клубней картофеля (табл. 10, прил. 4–8). Погодные условия в годы исследований были довольно благоприятными для возделывания картофеля. 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 минимальная урожайность клубней была получена на контрольном варианте.

Таблица 10 – 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

Применение серосодержащих удобрений обеспечило увеличение урожайности клубней картофеля. Однако их эффективность зависела от применяемой дозы и формы удобрения. Результаты исследований 2013 года показали, что при внесении серы в виде сульфата аммония были получены достоверные прибавки урожая клубней картофеля на всех вариантах. Наибольшая прибавка урожая 0,71 кг/м² была при внесении серы из расчета 60 кг/га. Использование элементарной серы было менее эффективно.

Достоверная прибавка урожая была получена только на варианте с внесением серы в дозе 60 кг/га.

В 2014 году применение серосодержащих удобрений сказалось на урожайности клубней картофеля следующим образом. Наибольшие прибавки урожая клубней картофеля были при внесении серы в виде сульфата аммония, и составили 0,19–0,41 кг/м². При внесении элементарной серы прибавки урожая составили 0,01–0,29 кг/м². Наивысшая урожайность клубней 3,41 кг/м² была получена при внесении серы в дозе 60 кг/га в виде сульфата аммония.

В 2015 году максимальная урожайность клубней картофеля была получена при внесении серы в дозе 60 кг/га. При внесении элементарной серы в дозе 60 кг/га урожайность клубней составила 3,48 кг/м², а при внесении серы в виде сульфата аммония – 3,68 кг/м².

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.

Анализ структуры урожая показал, что при внесении серосодержащих удобрений повышались показатели структуры урожая (табл. 11). На контроле число стеблей составило 3,4 штук/куст, число крупных клубней – 5,2 штук/куст. Внесение серосодержащих удобрений по сравнению с контрольным вариантом увеличило количество стеблей на 0,1–0,4 штук/куст и количество крупных клубней на 0,4–1,6 штук/куст. На контрольном варианте в среднем за 3 года средняя масса товарного клубня составила 93 г.

Внесение серных удобрений способствовало повышению массы крупного клубня. Наибольшая масса крупного клубня картофеля была получена при внесении элементарной серы в дозе 60 кг/га и составила 111 г, а при внесении серы в виде сульфата аммония при дозе серы 60 кг/га и составила 104 г. Количество мелких клубней составляло 2,3–3,6 шт./куст.

Таблица 11 – Влияние серосодержащих удобрений на структуру урожая картофеля (среднее за 2013–2015 гг.)

№	Вариант	Количество стеблей, шт./куст	Количество крупных клубней, шт./куст	Масса крупного клубня, г	Количество мелких клубней, шт./куст	Масса мелкого клубня, г
1	N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	3,4	5,2	93	3,3	29
2	Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	3,5	5,6	98	2,3	30
3	Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	3,7	6,0	111	3,1	29
4	Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	3,6	5,8	99	3,6	29
5	Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	3,8	6,4	97	2,6	31
6	Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	3,6	6,8	104	2,8	29
7	Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	3,7	6,2	97	3,3	29

В среднем за три года без применения серы количество мелких клубней составляло 3,3 шт./куст при массе одного клубня 29 г. При внесении элементарной серы в дозе 30 кг/га количество мелких клубней снизилось до 2,3 шт./куст, а масса 1 клубня возросла до 30 г. С увеличением дозы

элементарной серы до 60 и 90 кг/га количество мелких клубней увеличивалось соответственно до 3,1 штук/куст и 3,6 штук/куст, а масса 1 клубня уменьшилась до 29 г. При внесении серы в дозе 30 кг/га в виде сульфата аммония количество мелких клубней снизилось до 2,6 шт./куст, а масса 1 клубня возросла до 31 г. С внесением дозы серы 60кг/га и 90 кг/га количество мелких клубней увеличивалось соответственно до 2,8 штук/куст и 3,3 штук/куст, а масса 1 клубня снизилась до 29 г.

Полученные данные свидетельствуют о том, что применение серосодержащих удобрений при возделывании картофеля повышало урожайность за счет количества и массы крупных клубней картофеля.

Применение серосодержащих удобрений влияло на качество клубней картофеля следующим образом (табл. 12, прил. 9–12). В 2013 году при применении элементарной серы в дозе 30 и 90 кг/га содержание крахмала в клубнях не изменялось и составило 17,9 %. При дозе серы 60 кг/га содержание крахмала в клубнях повысилось на 1,1 % и составило 19,0 %. Применение серы в виде сульфата аммония в дозе 30 и 60 кг/га не изменило содержания крахмала в клубнях картофеля. Внесение серы в дозе 90 кг/га привело к снижению содержания крахмала до 17,1 %.

Таблица 12 – Содержание крахмала в клубнях картофеля, %

№	Вариант	2013 г.	2014 г.	2015 г.	Среднее
1	N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	17,9	17,9	15,4	17,0
2	Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	17,9	18,8	16,1	17,6
3	Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	19,0	19,0	16,9	18,3
4	Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	17,9	19,9	16,2	18,0
5	Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	17,9	18,8	16,4	17,7
6	Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	17,8	19,8	16,4	18,0
7	Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	17,1	19,4	16,2	17,6
	НСР ₀₅	1,0	0,9	0,8	0,5

В 2014 году применение серосодержащих удобрений оказывало влияние на содержание крахмала в клубнях картофеля следующим образом. При внесении элементарной серы содержание крахмала в клубнях картофеля увеличилось с 17,9 до 19,9 %. Наибольшее содержание крахмала наблюдалось при внесении элементарной серы в дозе 90 кг/га. При внесении серы в виде сульфата аммония наибольшее содержание крахмала 19,8 % было при дозе серы 60 кг/га.

В 2015 году при внесении элементарной серы в дозе 60 кг/га содержание крахмала возросло на 1,5 % и составило 16,9 %. При внесении серы в дозе 30 и 90 кг/га содержание крахмала составило соответственно 16,1 и 16,2 %. При внесении серы в виде сульфата аммония в дозе 30, 60 и 90 кг/га содержание крахмала в клубнях картофеля составило соответственно 16,4, 16,4 и 16,2 %.

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 %. 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.

Применение серосодержащих удобрений повлияло на содержание сухого вещества в клубнях картофеля (табл. 13, прил. 13–16). Так 2013 году содержание сухого вещества в клубнях картофеля при внесении элементарной серы изменялось от 20,0 до 21,6 %. Наибольшее количество сухого вещества было при дозе серы 30 кг/га и составило 21,6 %, что на 1,6 % больше контроля. Увеличение дозы серы до 60 и 90 кг/га привело к снижению содержания сухого вещества в клубнях картофеля до 21,0 и 20,0 %. Внесение серы в виде сульфата аммония в дозах 30, 60 и 90 кг/га

привело к снижению содержания сухого вещества в клубнях картофеля на 1,3, 1,5 и 0,8 %.

Таблица 13 – Содержание сухого вещества в клубнях картофеля, %

№	Вариант	2013 г.	2014 г.	2015 г.	Среднее
1	N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	20,6	21,8	22,2	21,5
2	Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	21,6	21,4	24,2	22,4
3	Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	21,0	22,6	25,2	22,9
4	Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	20,0	21,9	24,7	22,2
5	Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	19,3	22,6	24,3	22,0
6	Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	19,1	22,5	23,4	21,7
7	Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	19,8	22,6	23,0	21,8
	НСР ₀₅	1,1	0,5	1,7	0,8

В 2014 году процент сухого вещества изменялся от 21,4 до 22,6 %. Наибольшее содержание сухого вещества 22,6 % было в клубнях картофеля при внесении элементарной серы в дозе 60 кг/га и сульфата аммония в дозах 30 и 90 кг/га. При дозе элементарной серы 30 и 90 кг/га процент сухого вещества составил 21,4 и 21,9 %.

В условиях 2015 года содержание сухого вещества в клубнях картофеля с увеличением дозы серы возрастало с 22,2 до 25,2 %. Наибольшее содержание сухого вещества 25,2 % было получено при внесении элементарной серы в дозе 60 кг/га. При внесении сульфата аммония в дозе 30 кг/га содержание сухого вещества возросло на 2,1 % и составило 24,3 %. Внесение сульфата аммония в дозе 60 и 90 кг/га содержание сухого вещества в клубнях картофеля уменьшилось до 23,4 и 23,0 %.

В среднем за три года исследований 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 %.

Проведенные анализы показали изменения в содержании сырого протеина в клубнях картофеля (табл. 14). В 2013 году при применении серосодержащих удобрений содержание сырого протеина в клубнях картофеля снижалось с 9,80 до 7,87 %. При внесении серы в дозе 30 кг/га содержание сырого протеина в клубнях картофеля снизилось на 0,57 % и составило 9,23 %. При внесении доз серы 60 и 90 кг/га содержание сырого протеина было одинаковым и составило 8,38 %. Наименьшее содержание сырого протеина в клубнях картофеля было при внесении серы в виде сульфата аммония в дозе 30 кг/га и составило 7,87 %. При внесении серы в виде сульфата аммония в дозе 60 и 90 кг/га содержание сырого протеина составило соответственно 8,21 и 8,72 %.

Таблица 14 – Содержание сырого протеина в клубнях картофеля, %

№	Вариант	2013 г.	2014 г.	2015 г.	Среднее
1	N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	9,80	9,86	10,26	9,98
2	Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	9,23	9,12	10,43	9,63
3	Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	8,38	10,15	9,86	9,46
4	Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	8,38	9,86	9,41	9,23
5	Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	7,87	9,23	8,84	8,66
6	Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	8,21	9,98	9,18	9,12
7	Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	8,72	10,20	8,61	9,18

В 2014 году количества сырого протеина в клубнях картофеля изменялось с 9,12 до 10,20 %. Внесение элементарной серы в дозе 30 кг/га снизило содержание сырого протеина в клубнях до 9,12 %. С увеличением дозы серы до 60 кг/га содержание сырого протеина в клубнях возросло до 10,15 %. При внесении серы в дозе 90 кг/га содержание сырого протеина

составило 9,86 %. При внесении серы в виде сульфата аммония в дозе 30 кг/га содержание сырого протеина в клубнях картофеля составило 9,23 %. Увеличение дозы серы до 60 и 90 кг/га привело к повышению содержание сырого протеина соответственно до 9,98 и 10,20 %. В 2015 году при внесении элементарной серы в дозе 30 кг/га привело к увеличению содержание сырого протеина в клубнях картофеля до 10,43 %. Увеличение доз серы до 60 и 90 кг/га содержание сырого протеина уменьшилось до 8,96 и 9,41 %. Наименьшее содержание сырого протеина в клубнях картофеля наблюдалось при внесении серы в виде сульфата аммония. Так при дозе серы 30 кг/га содержание сырого протеина составило 8,84 %, 60 кг/га – 9,18 % и 90 кг/га – 8,61 %.

В среднем за три года исследований при внесении элементарной серы в дозе 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 (табл. 15).

Таблица 15 – Содержание нитратов в клубнях картофеля, мг/кг

№	Вариант	2013 г.	2014 г.	2015 г.	Среднее
1	N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	37,0	36,2	37,4	36,9
2	Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	43,6	35,2	32,2	37,0
3	Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	37,7	35,0	30,3	34,3
4	Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	37,7	36,4	34,4	36,2
5	Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	44,0	35,6	38,0	39,2
6	Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	39,4	38,0	34,4	37,3
7	Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	42,3	38,1	35,0	38,5

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, анализируя полученные данные, следует отметить, что применение серосодержащих удобрений обеспечило увеличение урожайности клубней картофеля. В среднем за три года внесение элементарной серы в дозе 60 кг/га урожайность клубней возросла на 0,44 кг/м² и составила 3,21 кг/м², а при внесении серы в виде сульфата аммония в дозе 60 кг/га урожайность клубней возросла на 0,64 кг/м² и составила 3,41 кг/м².

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.

3.3.3. Содержание элементов питания в клубнях и ботве картофеля

В оценке эффективного применения удобрений важнейшее значение отводится как прибавке урожая, так и улучшению его химического состава.

Внесение серосодержащих удобрений оказывало влияние на содержание элементов питания в клубнях картофеля (табл. 16, прил. 17). В среднем за три года исследований при применении серосодержащих удобрений содержание азота в клубнях картофеля снижалось с 1,75 до 1,52 %. Внесение элементарной серы в дозах 30, 60 и 90 кг/га содержание азота снизилось с 1,75 % соответственно до 1,69, 1,66 и 1,62 %.

Таблица 16 – Содержание элементов питания в клубнях картофеля, % на воздушно-сухую массу (среднее за 2013–2015 гг.)

№	Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
1	N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	1,75	0,49	1,69	0,12
2	Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	1,69	0,54	1,62	0,13
3	Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	1,66	0,51	1,81	0,15
4	Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	1,62	0,53	1,69	0,14
5	Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	1,52	0,55	1,78	0,14
6	Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	1,60	0,56	1,71	0,14
7	Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	1,61	0,54	1,76	0,15

При внесении серы в виде сульфата аммония в дозе 30 кг/га содержание азота составило 1,52 %. С увеличением дозы серы до 60 и 90 кг/га привело к увеличению содержание азота в клубнях картофеля соответственно до 1,60 и 1,61 %. При внесении серы в виде сульфата аммония содержание азота в клубнях картофеля было ниже по сравнению с внесением элементарной серой.

Внесение серосодержащих удобрений повышало содержание фосфора в клубнях картофеля с 0,49 до 0,56 %. Внесение элементарной серы в дозе 30 кг/га содержание фосфора в клубнях повысилось на 0,05 % и составило 0,54 %. Увеличение доз серы до 60 и 90 кг/га привело к снижению содержания фосфора в клубнях картофеля соответственно до 0,51 и 0,53 %. Внесение серы в виде сульфата аммония в дозе 30 кг/га содержания фосфора в клубнях картофеля составило 0,55 %. Наибольшее содержание фосфора 0,56 % было при дозе серы 60 кг/га.

При внесении серосодержащих удобрений содержание калия в клубнях картофеля изменялось от 1,62 до 1,81 %. При внесении элементарной серы в дозе 30 кг/га содержание калия снизилось с 1,69 до 1,62 %. С увеличением дозы серы до 60 кг/га содержание калия возросло на 0,12 % и составило 1,81 %. Дальнейшее увеличение дозы серы до 90 кг/га привело к

снижению содержание калия до 1,69 %. При внесении серы в виде сульфата аммония в дозе 30 кг/га содержание калия в клубнях картофеля возросло до 1,78 %. Увеличение дозы серы до 60 и 90 кг/га привело к снижению содержание калия соответственно до 1,71 и 1,76 %.

В среднем за три года исследований с использованием серосодержащих удобрений содержание серы в клубнях картофеля повысилось с 0,12 до 0,15 %. 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.

Одним из важнейших факторов получения высоких урожаев является оптимальное содержание в растениях картофеля доступных элементов питания. Внесение серосодержащих удобрений влияло на содержание азота, фосфора, калия и серы в надземной части картофеля следующим образом. В фазе бутонизации картофеля содержание азота в ботве картофеля составляло 4,00–4,91 % (табл. 17).

Таблица 17 – Содержание азота в ботве картофеля, % на воздушно-сухую массу (среднее за 2013–2015 гг.)

№	Вариант	Фаза бутонизации	Фаза цветения	Уборка
1	N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	4,91	3,43	1,71
2	Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	4,90	3,42	1,70
3	Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	4,82	3,41	1,69
4	Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	4,32	3,30	1,65
5	Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	4,57	3,38	1,69
6	Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	4,10	3,49	1,73
7	Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	4,00	3,59	1,75

Максимальное содержание азота в данной фазе 4,91 % было в ботве картофеля, выращенного на контрольном варианте. При применении серосодержащих удобрений с увеличением урожая надземной массы

содержание азота снижалось. При применении сульфата аммония в возрастающих дозах от 30 до 90 кг/га серы содержание азота снижалось и соответственно составило 4,57 %, 4,10 % и 4,00 %. При использовании элементарной серы в дозах 30 и 60 кг/га серы содержание азота в ботве картофеля не изменялось, а при дозе 90 кг/га снизилось до 4,32 %. Аналогичная закономерность прослеживалась в фазу цветения. В период уборки содержание азота в ботве картофеля изменялось по всем вариантам незначительно с 1,65 до 1,75 %.

Применение серосодержащих удобрений не изменяло содержание фосфора в ботве картофеля. В фазу бутонизации в надземной массе содержалось фосфора 0,47–0,53 %., в фазу цветения – 0,32–0,41 %, а в период уборки 0,30–0,35 % (табл. 18).

Таблица 18 – Содержание фосфора в ботве картофеля, % на воздушно-сухую массу (среднее за 2013–2015 гг.)

№	Вариант	Фаза бутонизации	Фаза цветения	Уборка
1	N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	0,51	0,39	0,35
2	Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	0,53	0,41	0,35
3	Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	0,52	0,36	0,32
4	Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	0,50	0,34	0,30
5	Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	0,50	0,32	0,30
6	Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	0,48	0,35	0,31
7	Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	0,47	0,36	0,31

Внесение серосодержащих удобрений приводило к снижению концентрации калия в ботве картофеля. В фазе бутонизации при внесении элементарной серы в дозе 30 и 60 кг/га серы содержание калия снизилось с 4,50 до 4,41 и 4,18 % соответственно (табл. 19). С увеличением дозы серы до 90 кг/га содержание калия в растениях возросло до 4,38 %. При использовании сульфата аммония в дозе 30 кг/га серы содержание калия в

ботве составило 4,25 %. При дозах серы 60 и 90 кг/га содержание калия составило 4,36 % и 4,13 % соответственно.

В фазу цветения в ботве картофеля контрольного варианта содержание калия составляло 4,39 %. С увеличением доз элементарной серы от 30 до 90 кг/га содержание калия снизилось соответственно до 4,21 %, 3,93 % и 3,78 %. При использовании сульфата аммония в данную фазу содержание калия в ботве соответственно составляло 4,10 %, 4,34 % и 3,98 %.

Таблица 19 – Содержание калия в ботве картофеля, % на воздушно-сухую массу (среднее за 2013–2015 гг.)

№	Вариант	Фаза бутонизации	Фаза цветения	Уборка
1	N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	4,50	4,39	2,37
2	Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	4,41	4,21	2,30
3	Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	4,18	3,93	2,18
4	Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	4,38	3,78	2,12
5	Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	4,25	4,10	2,24
6	Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	4,36	4,34	2,35
7	Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	4,13	3,98	2,18

В конце вегетации в надземной массе картофеля при применении серосодержащих удобрений содержание калия было ниже по сравнению с контролем. С увеличением дозы элементарной серы с 30 до 90 кг/га содержание калия в ботве снижалось с 2,37 % до 2,30, 2,18 и 2,12 %. При внесении серы в виде сульфата аммония в дозах 30, 60 и 90 кг/га содержание калия соответственно составило 2,24, 2,35 и 2,18 %.

Применение серосодержащих удобрений слабо влияло на содержание серы в надземной массе растений. В ботве картофеля в фазе бутонизации содержание серы в контрольных растениях составляло 0,42 %, а удобрённых серой – 0,40–0,46 % (табл. 20). При внесении элементарной серы содержание серы в ботве составило 0,44 %. С внесением серы в дозе 30 и 60 кг/га в

виде сульфата аммония содержание серы в ботве возросло до 0,45 и 0,46 %. Увеличение дозы серы до 90 кг/га привело к снижению содержание серы соответственно до 0,40 %. Содержание серы в ботве картофеля в фазу цветения при применении серосодержащих удобрений практически не изменялось и составило 0,27–0,30 %.

Таблица 20 – Содержание серы в ботве картофеля, % на воздушно-сухую массу (среднее за 2013–2015 гг.)

№	Вариант	Фаза бутонизации	Фаза цветения	Уборка
1	N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	0,42	0,28	0,15
2	Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	0,44	0,28	0,16
3	Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	0,44	0,30	0,15
4	Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	0,44	0,29	0,15
5	Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	0,45	0,27	0,18
6	Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	0,46	0,27	0,19
7	Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	0,40	0,25	0,15

При внесении серосодержащих удобрений к уборке содержание серы в ботве картофеля изменялось от 0,15 до 0,19 %. Наибольшее содержание серы в ботве было при внесении серы в виде сульфата аммония в дозе 60 кг/га и составило 0,19 %.

Таким образом, применение серосодержащих удобрений влияло на содержание питательных элементов в клубнях и ботве картофеля.

3.3.4. Вынос питательных элементов урожаем картофеля

Результаты исследований показали, что при внесении серосодержащих удобрений с увеличением урожайности клубней картофеля повышался и вынос питательных веществ. Наименьший вынос азота, фосфора, калия и серы был на контрольном варианте и соответственно составил 104,0, 28,9,

93,2 и 7,3 кг/га (табл. 21). При внесении элементарной серы в дозе 30 кг/га вынос элементов питания увеличился до 110,1 кг/га азота, 34,6 кг/га фосфора, 96,5 кг/га калия и 8,4 кг/га серы. С увеличением доз серы до 60 кг/га вынос NPKS возрастал. Так, при внесении элементарной серы в дозе 60 кг/га вынос составил азота 123,5 кг/га, фосфора 37,1 кг/га, калия 112,0 кг/га и серы 11,1 кг/га. Увеличение дозы серы до 90 кг/га к дальнейшему росту выноса элементов питания не приводило.

Таблица 21 – Вынос элементов питания клубнями и ботвой картофеля, кг/га (среднее за 2013–2015 гг.)

№	Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
1	N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	<u>156,7</u>	<u>39,7</u>	<u>166,3</u>	<u>11,9</u>
		104,0	28,9	93,2	7,3
2	Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	<u>172,0</u>	<u>47,3</u>	<u>180,2</u>	<u>14,2</u>
		110,1	34,6	96,5	8,4
3	Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	<u>203,4</u>	<u>52,2</u>	<u>215,1</u>	<u>18,2</u>
		123,5	37,1	112,0	11,1
4	Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	<u>164,9</u>	<u>45,4</u>	<u>166,6</u>	<u>14,5</u>
		111,0	35,6	96,9	9,9
5	Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	<u>171,5</u>	<u>49,4</u>	<u>195,0</u>	<u>16,5</u>
		108,0	38,1	110,8	9,7
6	Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	<u>192,4</u>	<u>53,5</u>	<u>216,9</u>	<u>18,0</u>
		119,4	40,4	117,7	10,0
7	Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	<u>190,1</u>	<u>50,5</u>	<u>210,3</u>	<u>17,0</u>
		110,3	36,1	109,1	10,0

*В числителе – общее потребление, в знаменателе – потребление клубнями.

При внесении серы в виде сульфата аммония проявлялась аналогичная закономерность. Наибольший вынос азота 119,4 кг/га, фосфора 40,4 кг/га, калия 117,7 кг/га и серы 10,0 кг/га был при дозе серы 60 кг/га. Наименьшее потребление клубнями азота, фосфора, калия и серы было при внесении сульфата аммония из расчета 30 кг/га серы.

Общий вынос элементов питания с клубнями и ботвой картофеля был значительно выше и составлял: азота 156,7–203,4 кг/га, фосфора 39,7–53,5 кг/га, калия 166,3–216,9 кг/га и серы 11,9–18,2 кг/га. Наименьший вынос

NPKS был получен при выращивании картофеля без применения серосодержащих удобрений. При внесении элементарной серы и сульфата аммония вынос элементов питания возрастал. Максимальный вынос азота 203,4 и 192,4 кг/га, фосфора 52,2 и 53,5 кг/га, калия 215,1 и 216,9 кг/га, серы 18,2 и 18,0 кг/га был при внесении 60 кг/га серы в виде элементарной серы и сульфата аммония соответственно. При дозе внесения серы 30 и 90 кг/га потребление элементов питания с картофелем снижалось.

Полученные результаты согласуются с данными других авторов. По данным исследований И.У. Вальникова (1970) и А.А. Григорьева (1973) с урожаями в 170–230 ц/га клубней картофеля выносятся из почвы 9–37 кг/га серы.

Таким образом, в среднем за три года исследований при внесении серосодержащих удобрений вынос азота, фосфора, калия и серы урожаем возрастал, это в основном было обусловлено увеличением урожайности клубней и ботвы картофеля.

Основным показателем, определяющим величину усвоения культурой питательных веществ на единицу основной продукции, является показатель выноса (табл. 22).

Таблица 22 – Показатель выноса элементов питания урожаем картофеля, кг/т (среднее за 2013–2015 гг.)

№	Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
1	N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	5,7	1,4	6,0	0,4
2	Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	5,9	1,6	6,2	0,5
3	Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	6,3	1,6	6,7	0,6
4	Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	5,4	1,5	5,5	0,5
5	Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	5,4	1,6	6,1	0,5
6	Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	5,6	1,6	6,4	0,5
7	Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	6,0	1,6	6,7	0,5

Расчет показателя выноса элементов питания урожаем картофеля показал, что с увеличением дозы серосодержащего удобрения увеличивался вынос с 1 тонной азота с 5,7 до 6,3 кг, фосфора с 1,4 до 1,6 кг, калия с 6,0 до 6,7 кг и серы с 0,4 до 0,6 кг. Наибольшие значения показателя выноса по азоту 6,3 кг/т, фосфору – 1,6 кг/т, калию – 6,7 кг/т и серы – 0,6 кг/т были получены при выращивании картофеля с внесением элементарной серы в дозе 60 кг/га.

Расчет коэффициентов использования серы из серосодержащих удобрений показал, что они изменялись как в зависимости от вида удобрения, так и от применяемой дозы. При использовании элементарной серы в дозе 30 кг/га коэффициент использования серы 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 %.

3.3.5. Баланс серы при возделывании картофеля

Баланс элементов питания это важный раздел агрохимических исследований. Он позволяет соизмерять поступление и вынос питательных веществ при возделывании сельскохозяйственных культур и дает оценку правильности используемой системы применения удобрений.

В расчете баланса серы при возделывании картофеля в приходную часть включали поступлением серы с серосодержащими удобрениями, атмосферными осадками и посадочным материалом (табл. 23). 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.

В расходной части баланса, кроме выноса серы с урожаем, учитывали потери серы за счет вымывания из почвы. 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.

Таблица 23 – 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

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.

3.4. Влияние серного удобрения на урожайность и качество викоовсяной смеси

Эффективность внесения элементарной серы на урожайность и качество викоовсяной смеси изучали в полевом опыте. Результаты проведённых исследований свидетельствуют, что продуктивность викоовсяной смеси зависела от погодных условий и изучаемых факторов (табл. 24, прил. 18–20).

Учет урожая зеленой массы викоовсяной смеси показал, что применение серного удобрения обеспечило получение достоверной прибавки урожайности зелёной массы.

Таблица 24 – 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

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. Применение серного удобрения обеспечило увеличение урожайности зеленой массы викоовсяной смеси. Однако их эффективность зависела от применяемой дозы.

Результаты исследований 2014 года показали, что при внесении элементарной серы наибольшую прибавку урожая дало внесение серного удобрения с дозой серы 40 и 60 кг/га. Урожайность зелёной массы викоовсяной смеси повысилась на 1,3–1,8 т/га и составила 19,6–20,1 т/га. А с дозой серы 20 кг/га достоверных данных по урожайности зелёной массы викоовсяной смеси не получено.

В 2016 году эффективность серного удобрения отличалась от 2014 года. На вариантах с внесением элементарной серы было выявлено повышение урожайности зеленой массы викоовсяной смеси. При внесении элементарной серы прибавки урожая зеленой массы викоовсяной смеси составили 3,6 т/га при дозе серы 40 кг/га и 4,0 т/га при дозе серы 60 кг/га.

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. А с дозой серы 20 кг/га достоверной прибавки по урожайности зеленой массы викоовсяной смеси не наблюдалось. Таким образом, оптимальным являлось внесение серы в дозе 40 кг/га.

Из таблицы 25 видно, что 2014 и 2016 году внесение серного удобрения влияло на содержание азота в зелёной массе викоовсяной смеси.

Таблица 25 – Содержание азота, % на сухое вещество

№	Вариант	Фаза ветвления вики			Фаза цветения вики		
		2014 г.	2016 г.	Среднее	2014 г.	2016 г.	Среднее
1	N ₀ P ₀ K ₃₀ (фон)	2,60	2,68	2,64	2,15	2,24	2,19
2	Фон + S ₂₀	2,61	2,72	2,66	1,89	2,31	2,10
3	Фон + S ₄₀	2,71	2,79	2,75	2,00	2,27	2,13
4	Фон + S ₆₀	2,67	2,82	2,74	2,01	2,26	2,13

Так в 2014 году, в фазе ветвления вики, на вариантах с дозой серы 20 кг/га содержание азота в зеленой массе составляло – 2,61 %, а при дозе серы 40 кг/га – 2,71 %, а при дозе серы 60 кг/га азота содержалось 2,67 %.

В 2016 году в фазе ветвления вики, получен аналогичный результат. Так на вариантах с дозой серы 20 кг/га содержание азота составляло – 2,72 %, при дозе серы 40 кг/га – 2,79 %, а при дозе серы 60 кг/га азота содержалось 2,82 %. В среднем за два года в фазе ветвления вики с увеличением дозы серы наблюдалось увеличение содержания азота с 2,64 до 2,74 %.

Проведенные анализы образцов взятых в фазе цветения вики показали незначительные изменения в содержании азота в зеленой массе викоовсяной смеси. Так в 2014 году, на вариантах с дозой серы 20 кг/га содержание азота в зеленой массе составляло – 1,89 %, при дозе серы 40 кг/га – 2,00 %, при дозе серы 60 кг/га азота содержалось 2,01 %. В 2016 году на вариантах с дозой серы 20 кг/га содержание азота в зеленой массе составляло – 2,31 %, и при дозе серы 40 кг/га – 2,27 %, и при дозе серы 60 кг/га азота содержалось 2,26 %.

В среднем за два года в фазе цветения вики с увеличением дозы серы содержания азота снижалось с 2,19 до 2,13 %, что можно объяснить увеличением урожайности зеленой массы.

Внесение серного удобрения не способствовало изменению содержания фосфора в растениях (табл. 26).

Таблица 26 – Содержание фосфора, % на сухое вещество

№	Вариант	Фаза ветвления вики			Фаза цветения вики		
		2014 г.	2016 г.	Среднее	2014 г.	2016 г.	Среднее
1	N ₀ P ₀ K ₃₀ (фон)	0,79	0,75	0,77	0,57	0,63	0,60
2	Фон + S ₂₀	0,76	0,74	0,75	0,66	0,68	0,67
3	Фон + S ₄₀	0,77	0,78	0,76	0,63	0,64	0,63
4	Фон + S ₆₀	0,78	0,77	0,76	0,61	0,60	0,60

Так в фазе ветвления вики в среднем за два года при дозе серы 20 кг/га фосфора в растениях содержалось 0,75 %, а при дозах серы 40 и 60 кг/га – 0,76 %. В фазе цветения вики в среднем за два года при дозе серы 20 кг/га фосфора в растениях содержалось 0,67 %, при дозе серы 40 – 0,63 % и при дозе серы 60 кг/га – 0,60 %.

Применение серного удобрения влияло на содержание калия в зеленой массе викоовсяной смеси (табл. 27). В среднем за два года исследований, в фазе ветвления вики при дозе серы 40 кг/га содержание калия возросло с 2,24 до 2,41 %. При увеличении дозы серы до 60 кг/га дальнейшего повышения концентрации калия не произошло, его содержание составило 2,35 %.

Таблица 27 – Содержание калия, % на сухое вещество

№	Вариант	Фаза ветвления вики			Фаза цветения вики		
		2014 г.	2016 г.	Среднее	2014 г.	2016 г.	Среднее
1	N ₀ P ₀ K ₃₀ (фон)	2,25	2,24	2,24	2,26	2,12	2,19
2	Фон + S ₂₀	2,13	2,09	2,11	2,28	1,97	2,12
3	Фон + S ₄₀	2,39	2,43	2,41	2,09	2,04	2,06
4	Фон + S ₆₀	2,34	2,37	2,35	2,13	2,09	2,11

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 (табл. 28).

Таблица 28 – Содержание серы, % на сухое вещество

№	Вариант	Фаза ветвления вики			Фаза цветения вики		
		2014 г.	2016 г.	Среднее	2014 г.	2016 г.	Среднее
1	N ₀ P ₀ K ₃₀ (фон)	0,19	0,11	0,15	0,11	0,10	0,10
2	Фон + S ₂₀	0,25	0,09	0,17	0,09	0,13	0,11
3	Фон + S ₄₀	0,18	0,16	0,17	0,16	0,16	0,16
4	Фон + S ₆₀	0,24	0,17	0,20	0,17	0,19	0,18

С увеличением дозы 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 %.

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

Проведенные анализы образцов взятых в фазе цветения вики показали незначительные изменения в содержании сырого протеина в зеленой массе (табл. 29). Так в 2014 году на вариантах с дозой серы 20 кг/га содержание сырого протеина в зеленой массе составляло – 11,81 %, при дозе серы 40 кг/га – 12,50 %, а при дозе серы 60 кг/га сырого протеина содержалось 12,56 %. В 2016 году на вариантах с дозой серы 20 кг/га содержание сырого протеина в зеленой массе составляло – 14,42 %, и при дозе серы 40 кг/га – 14,17 %, а при дозе серы 60 кг/га сырого протеина содержалось 14,11 %.

В среднем за два года с увеличением дозы серы содержание сырого протеина снижалось с 13,70 до 13,33 %.

Таблица 29 – Содержание и сбор сырого протеина урожаем зеленой массы викоовсяной смеси

№	Вариант	Содержание сырого протеина, % на сухое вещество			Сбор сырого протеина, т/га		
		2014 г.	2016 г.	Среднее	2014 г.	2016 г.	Среднее
1	N ₀ P ₀ K ₃₀ (фон)	13,43	13,98	13,70	0,69	0,84	0,76
2	Фон + S ₂₀	11,81	14,42	13,11	0,62	0,99	0,81
3	Фон + S ₄₀	12,50	14,17	13,33	0,63	1,06	0,84
4	Фон + S ₆₀	12,56	14,11	13,33	0,66	1,10	0,89

Увеличение урожайности влияло на выход сырого протеина с 1 гектара. Так в 2014 году на вариантах с дозой серы 20 кг/га сбор сырого протеина с зеленой массой составлял – 0,62 т/га, при дозе серы 40 кг/га – 0,63 т/га, а при дозе серы 60 кг/га – 0,66 т/га. В 2016 году на вариантах с дозой серы 20 кг/га сбор сырого протеина с зеленой массой составил – 0,99 т/га, при дозе серы 40 кг/га – 1,06, а при дозе серы 60 кг/га – 1,10 т/га. В среднем за два года с увеличением дозы серы сбор сырого протеина увеличился с 0,76 до 0,89 т/га.

3.4.1. Вынос питательных элементов урожаем викоовсяной смеси

Вынос элементов питания урожаем викоовсяной смеси в годы исследований зависел от их содержания в растениях и урожайности зеленой массы. При улучшении условий питания, вынос урожаем азота, фосфора, калия и серы возрастал (табл. 30). На контрольном варианте вынос азота составил 122,0 кг/га, а на вариантах с дозой внесения серы 20, 40 и 60 кг/га вынос азота увеличился соответственно до 128,9, 135,2 и 141,5 кг/га.

Таблица 30 – Вынос элементов питания урожаем викоовсяной смеси, кг/га (среднее за два года)

№	Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
1	N ₀ P ₀ K ₃₀ (фон)	122,0	33,4	121,2	5,8
2	Фон + S ₂₀	128,9	40,2	127,4	6,8
3	Фон + S ₄₀	135,2	39,7	128,9	10,1
4	Фон + S ₆₀	141,5	39,6	138,1	11,9

Внесение элементарной серы влияло на вынос фосфора из почвы с урожаем. Так в среднем за два года исследования на контрольном варианте вынос фосфора составил 33,4 кг/га, а на вариантах с внесением серы 20, 40 и 60 кг/га – соответственно 40,2, 39,7 и 39,6 кг/га. В среднем за два года вынос калия увеличивался с 121,2 до 138,1 кг/га, что объясняется увеличением урожайности зеленой массы.

Проведенные исследования показали, что внесение элементарной серы влияло на вынос серы урожаем викоовсяной смеси. На контрольном варианте вынос серы составил 5,8 кг/га, а на вариантах с дозой внесения серы 20, 40 и 60 кг/га – соответственно 6,8, 10,1 и 11,9 кг/га.

Расчет показателя выноса элементов питания урожаем викоовсяной смеси показал, что с увеличением дозы серного удобрения увеличивался вынос с 1 тонной серы и калия, снижался вынос азота и не изменялся вынос фосфора (табл. 31).

Таблица 31 – Показатель выноса элементов питания урожаем викоовсяной смеси, кг/т (среднее за два года)

№	Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
1	N ₀ P ₀ K ₃₀ (фон)	6,6	1,8	6,6	0,3
2	Фон + S ₂₀	6,5	2,0	6,7	0,3
3	Фон + S ₄₀	6,4	1,8	6,7	0,4
4	Фон + S ₆₀	6,5	1,8	6,8	0,5

Расчет коэффициента использования серы из серного удобрения показал, что в зависимости от применяемой дозы он изменялся 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 содержание в растениях, увеличивалась урожайность, возрастал вынос с зеленой массой викоовсяной смеси и коэффициент использования из удобрения.

3.4.2. Баланс серы при возделывании викоовсяной смеси

Баланс элементов питания отражает полноту эффективности системы удобрения и одновременно её влияние на изменения агрохимических свойств почв (Минеев В.Г, 1995).

Используя данные по приходу и выносу серы с урожаем викоовсяной смеси, нами был рассчитан баланс серы. В приходной части баланса учитывали поступление серы с серосодержащим удобрением, с атмосферными осадками и посевным материалом, а в расходной – вынос серы с урожайностью викоовсяной смеси и выщелачиванием из почвы (табл. 32).

В исследованиях, проведенных нами в 2014 и 2016 гг. содержание серы в осадках холодного периода составило 2,8 кг/га, а теплого периода – 3,0 кг/га. Всего в среднем за два года поступление серы с атмосферными осадками составило 5,8 кг/га серы, а с семенами викоовсяной смеси – 0,2 кг/га.

Таблица 32 – Баланс серы при возделывании викоовсяной смеси, кг/га (среднее за два года)

№	Вариант	Приход			Расход		Баланс
		С удобрением	С атмосферными осадками	С семенами	Вынос с урожаем	Выщелачивание	
1	N ₀ P ₀ K ₃₀ (фон)	–	5,8	0,2	5,8	2,9	-2,7
2	Фон + S ₂₀	20	5,8	0,2	6,8	12,9	6,3
3	Фон + S ₄₀	40	5,8	0,2	10,1	22,9	13,0
4	Фон + S ₆₀	60	5,8	0,2	11,9	32,9	21,2

Баланс серы при возделывании викоовсяной смеси показал, что на контрольном варианте он был отрицательным и составил -2,7 кг/га. При применении серного удобрения он был положительным. Так, при внесении серы в дозе 20 кг/га он составил 6,3 кг/га. С увеличением дозы серы до 40 и 60 кг/га положительный баланс серы возрос до 13,0 и 21,2 кг/га. Таким образом, возделывание викоовсяной смеси с внесением серного удобрения обеспечивало положительный баланс серы.

4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

4.1. Экономическая эффективность использования серосодержащих удобрений при возделывании картофеля

Повышение эффективности сельскохозяйственного производства – основа современного экономического развития. Перспективность любой системы агротехнических мероприятий зависит от экономической эффективности, то есть от затрат средств и труда на возделывание полевой культуры, от её себестоимости. Это во многом определяет правильный выбор той или иной системы в каждом конкретном случае с учётом местных почвенно-климатических условий и требований культур.

Экономическая эффективность характеризуется сопоставлением выхода продукции с размерами материально-денежных затрат, необходимых для получения этой продукции. Чем больше производится продукции с единицы земельной площади и чем меньше затрат на единицу продукции, тем эффективнее используется земля. Для определения экономической эффективности производства картофеля необходимо знать урожайность с 1 га, общие затраты на 1 га, себестоимость единицы продукции, чистый доход и рентабельность производства. Экономическая эффективность всего сельскохозяйственного производства, а также растениеводства определяется рентабельностью (Попов Н.А., 2001).

Результаты расчёта экономической эффективности показали, что возделывание картофеля по вариантам опыта было рентабельным (табл. 33). При возделывании картофеля без серосодержащих удобрений чистый доход составлял 71961 руб./га, а уровень рентабельности 76,4 %. При внесении серосодержащих удобрений с ростом урожайности клубней картофеля возрастал чистый доход и повышалась рентабельность производства.

Таблица 33 – Экономическая эффективность использования серосодержащих удобрений при возделывании картофеля (средняя за 2013–2015 гг.)

Варианты	Урожайность, т/га	Стоимость урожая, руб	Затраты на возделывание, руб./га	Себестоимость урожая, руб./т	Чистый доход, руб./га	Рентабельность, %
N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	27,7	166200	94239	3402,1	71961	76,4
Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	29,1	174600	94549	3249,1	80051	84,7
Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	32,1	192600	96695	3012,3	95905	99,2
Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	30,4	182400	96987	3190,3	85413	88,1
Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	31,8	190800	95993	3018,6	94807	98,8
Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	34,1	204600	96205	2821,2	108395	112,7
Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	31,5	189000	96393	3060,0	92607	96,1

Стоимость урожая в зависимости от варианта составила от 166200 до 204600 руб. Производственные затраты при этом были 94239–96695 руб./га. Более затратным было возделывание картофеля при внесении при внесении элементарной серы в дозе из расчета 90 кг/га и составило 96987 руб./га, а при внесении серы в виде сульфата аммония в дозе из расчета 90 кг/га – 96393 руб./га. Чистый доход в зависимости от варианта составил от 71961–108395 руб./га. Наибольший доход получен при внесении серы в виде сульфата аммония в дозе из расчета 60 кг/га и составил 108395 руб./га, а при внесении элементарной серы в дозе 60 кг/га – 95905 руб./га.

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.

4.2. Экономическая эффективность использования серного удобрения при возделывании викоовсяной смеси

Расчет экономической эффективности показал, что в целом производство викоовсяной смеси на зелёную массу было выгодным (табл. 34). При возделывании викоовсяной смеси без удобрений чистый доход составлял 2190 руб./га, а уровень рентабельности 31,0 %. При применении серного удобрения с ростом урожайности зелёной массы викоовсяной смеси возрастал чистый доход и повышалась рентабельность производства. Максимальный чистый доход 2990 руб./га был получен при использовании серного удобрения в дозе 40 и 60 кг/га. Более рентабельно возделывание викоовсяной смеси было при дозе серы 40 кг/га. Уровень рентабельности на данном варианте составила 40,1 %, а себестоимость 1 тонны зеленой массы 356,9 руб.

Таблица 34 – Экономическая эффективность использования серного удобрения при возделывании викоовсяной смеси (средняя за 2014 и 2016 гг.)

Варианты	Урожайность, т/га	Стоимость урожая, руб	Затраты на возделывание, руб./га	Себестоимость урожая, руб./т	Чистый доход, руб./га	Рентабельность, %
N ₀ P ₀ K ₃₀ (фон)	18,5	9250	7060	381,6	2190	31,0
Фон + S ₂₀	19,7	9850	7260	368,5	2590	35,7
Фон + S ₄₀	20,9	10450	7460	356,9	2990	40,1
Фон + S ₆₀	21,3	10650	7660	359,6	2990	39,0

Таким образом, в проведённых нами исследованиях доказана экономическая эффективность применения серосодержащих удобрений при возделывании картофеля и викоовсяной смеси.

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.

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

5. 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.

6. 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.

7. С увеличением дозы 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.

8. 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.

9. С увеличением доз серосодержащих удобрений с 30 до 90 кг/га положительный баланс серы возрастал. При использовании элементарной серы он увеличивался с 5,1 до 34,8 кг/га, а при внесении сульфата аммония соответственно с 2,8 до 32,3 кг/га.

10. 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.

11. Применение серного удобрения улучшало условия азотного и серного питания викоовсяной смеси и слабо влияло на поглощение фосфора и калия.

12. 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.

13. Баланс серы при возделывании викоовсяной смеси был отрицательным и составил -2,7 кг/га. При применении серного удобрения в дозе 20 кг/га он составил +6,3 кг/га. С увеличением дозы серы до 40 и 60 кг/га положительный баланс серы возрос до 13,0 и 21,2 кг/га.

14. 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 %.

15. 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдонин, Н.С. Научные основы применения удобрений / Н.С. Авдонин. – М.: Колос, 1972. – 319 с.
2. Агеев, В.В. Проблемы серы в современном южно-российском земледелии / В.В. Агеев, О.Ю. Лобанкова, Л.В. Серая // Сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию кафедры агрономической химии Кубанского ГАУ и памяти академика Василия Григорьевича Минеева. – 2017. – С. 184-191.
3. Агроклиматические ресурсы Марийской АССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 106 с.
4. Айдинян, Р.Х. Методы извлечения и определения различных форм серы в почвах и растениях (инструкция) / Р.Х. Айдинян, М.С. Иванова, Т.Г. Соловьева. – М., 1975. – 22 с.
5. Айдинян, Р.Х. Содержание и формы соединений серы в различных почвах СССР и ее значения в обмене веществ между почвой и растениями / Р.Х. Айдинян // Агрохимия. – 1964. – № 10. – С. 3-15.
6. Алешин, Е.П. Рис / Е.П. Алешин, Н.Е. Алешин. – М., 1993. – 504 с.
7. Алыков, Н.М. Влияние серосодержащих удобрений на всхожесть семян и рост корневой системы подсолнечника, пшеницы и сои / Н.М. Алыков, В.Н. Пилипенко, М.С. Бодня // Агрохимия. – 2003. – № 12. – С. 38-41.
8. Анспок, П.И. Влияние гипса и элементарной серы на урожай полевых культур в Латвийской ССР / П.И. Анспок // Химия в сельском хозяйстве. – 1973. – № 5. – С. 27-30.
9. Анспок, П.И. Влияние серосодержащих удобрений на урожай и качество сельскохозяйственных культур в зависимости от почвенных условий / П.И. Анспок, А.Д. Клуша // Улучшение плодородия почвы. – Рига, 1973. – С. 147-161.

10. Анспок, П.И. Гипс как серосодержащее удобрение / П.И. Анспок // Труды ВНИИ удобрений и почвоведения. – 1974. – Вып. 23. – С. 157-162.
11. Анспок, П.И. Микроудобрения: справочник 2-е изд. перераб. и доп. / П.И. Анспок. – Л.: Агропромиздат. Ленинградское отделение, 1990. – 272 с.
12. Анспок, П.И. Применение магния, серы, микроудобрений и нитрагина / П.И. Анспок // Научные основы применения удобрений в Белорусской ССР, Литовской ССР, Латвийской ССР и Эстонской ССР. – Минск, 1976. – С. 43-56.
13. Анспок, П.И. Сравнительная эффективность различных форм калийных, магниевых и серосодержащих удобрений в Латвийской ССР / П.И. Анспок // Агрохимия. – 1987. – № 1. – С. 23-28.
14. Аристархов, А.Н. Агрохимическая концепция повышения продуктивности земледелия России посредством совершенствования комплексного применения макро и микроудобрений в агроэкосистемах / А.Н. Аристархов // Бюллетень ВИУА. – 2001. – № 114. – С. 13-15.
15. Аристархов, А.Н. Агрохимия серы / Под ред. академика РАСХН В.Г. Сычева. – М.: ВНИИА, 2007. – 272 с.
16. Аристархов, А.Н. Баланс серы по регионам страны / А.Н. Аристархов // Химия в сельском хозяйстве. – 1987. – № 9. – С. 41-44.
17. Аристархов, А.Н. Методические указания по применению магнийсодержащих удобрений / А.Н. Аристархов. – М., 1983. – 28 с.
18. Аристархов, А.Н. Оптимизация питания растений и применение удобрений в агроэкосистемах / А.Н. Аристархов. – М.: МГУ, ЦИНАО, 2000. – 524 с.
19. Аристархов, А.Н. Сера в агроэкосистемах России: Мониторинг содержания в почвах и эффективность ее применения / А. Н. Аристархов // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2016. – № 5. – С. 39-47.
20. Аристархов, А.Н. Содово-засоленные почвы Карабахской равнины и их мелиорация промывкой и электрическим током: автореф. дис.

... канд. биол. наук: 06.01.04 / Аристархов Алексей Николаевич. – Воронеж, 1964. – 22 с.

21. Байбеков, Р.Ф. Научно-практические рекомендации по применению фосфогипса нейтрализованного в качестве химического мелиоранта и серного удобрения / Р.Ф. Байбеков, И.А. Шильников, Н.И. Аканова. – М.: ВНИИА, 2012. – 56 с.

22. Бамберг, К.К. Содержание серы в растениях и значение ее для удобрения сельскохозяйственных культур / К.К. Бамберг // Известия АН Латвийской ССР. – 1973. – № 7. – С. 3-11.

23. Баранов, П.А. Об удовлетворении потребности растений в сере и серосодержащих удобрениях / П.А. Баранов // Химия в сельском хозяйстве. – 1969. – № 1. – С. 18-22.

24. Барахтенова, Л.А. Влияние сернистого газа на фотосинтез растений / Л.А. Барахтенова, Б.С. Николаевский. – Новосибирск: Наука, 1988. – 86 с.

25. Беспалов, А.Л. Сера в питании и продуктивности риса в условиях правобережья р. Кубани: автореф. дис. ... канд. с. - х. наук: 06.01.04 / Беспалов Александр Леонидович – Краснодар, 2004. – 22 с.

26. Братчиков, В.Г. Содержание удобрений дополнительный источник повышения урожая и его качества в условиях серых лесных почв Татарии: автореф. дис. ... канд. с. - х. наук: 06.01.04 / Братчиков Валентин Григорьевич. – Казань, 1976. – 20 с.

27. Буганова, А.Н. Влияние серы на морфологическое и анатомическое строение, физиологические и биохимические показатели растений гороха / А.Н. Буганова, В.И. Беляева, А.К. Тулунина, В.Г. Топчаева // Агрохимия. – 1969. – №11. – С. 128-130.

28. Вальников, И.У. Влияние серы и гипса на агрохимические свойства дерново-подзолистых почв Предкамья Татарии / И.У. Вальников, В.И. Мещанов, С.Ш. Цуриев // Агрохимия. – 1973. – № 9. – С. 83-86.

29. Вальников, И.У. Баланс серы в земледелии Среднего Поволжья / И.У. Вальников // Агрохимия. – 1981. – № 1. – С. 50-57.
30. Вальников, И.У. Действие серосодержащих удобрений на агрохимические свойства серых лесных почв и выщелоченных черноземов / И.У. Вальников // Агрохимия. – 1981. – № 8. – С. 58-64.
31. Вальников, И.У. Круговорот серы и значение его для сельскохозяйственных культур в Татарской АССР / И.У. Вальников // Почвоведение. – 1973. – № 3. – С. 40-47.
32. Вальников, И.У. Рекомендации по применению серных удобрений в Марийской АССР / И.У. Вальников, Г.С. Егоров, И.Ш. Шамсутдинов, А.Г. Трухан. – Йошкар-Ола, 1977. – 20 с.
33. Вальников, И.У. Сера в слитых черноземах Чувашии / И.У. Вальников, П.В. Гришин, Е.И. Ломако // Агрохимия. – 1971. – № 8. – С. 93-96.
34. Вальников, И.У. Содержание различных форм серы в лесостепных почвах Татарской АССР и значение серы в их плодородии / И.У. Вальников // Агрохимия. – 1970. – №2. – С. 60-64.
35. Вальников, И.У. Формы серы в почвах Среднего Поволжья / И.У. Вальников, А.М. Мишин // Агрохимия. – 1974. – № 12. – С. 112-118.
36. Виткаленко, Л.П. Серное питание и продуктивность озимой пшеницы / Л.П. Виткаленко, О.Ф. Гольцова, А.М. Ковальчук // Серное питание и продуктивность растений. – Киев, 1983. – С. 62-82.
37. Виткаленко, Л.П. Улучшение качества зерна озимой пшеницы под влиянием серы / Л.П. Виткаленко, О.Ф. Гольцова, А.М. Ковальчук // Вопросы физиологии пшеницы. – Кишинёв, 1981. – С. 119-122.
38. Владимирова, Э.Д. Изменение качества люпина кукурузы под влиянием серосодержащих удобрений / Э.Д. Владимирова // Почвоведение и агрохимия (в.2). – Минск: Ураджай, 1974. – С. 113-119.
39. Возбуждая, А.Е. Химия почв / А.Е. Возбуждая. – М.: Высшая школа, 1964. – 397 с.

40. Гаврилова, Л.Н. Изучение механизма транслокации в рибосомах / Л. Н. Гаврилова, А.С. Спирин // Молекулярная биология. – 1972. – № 2. – С. 311-319.
41. Гайсин, И.А. Макро и микроудобрения в интенсивном земледелии / И.А. Гайсин. – Казань, 1989. – 126 с.
42. Гилязов, М.Ю. Действие серосодержащих удобрений на урожайность некоторых сельскохозяйственных культур в условиях серой лесной почвы / М.Ю. Гилязов, Ф.Ш. Фасхутдинов, И.Р. Сулейманов // Фундаментальные и прикладные исследования в АПК на современном этапе развития химии: Материалы и Международной Интернет-конференции. – Орел: Изд-во Орел ГАУ, 2009. – С. 30-33.
43. Горюнов, С.В. О роли серосодержащего полинуклеотидпептидного комплекса в делении клеток хлореллы / С.В. Горюнов, М.А. Пушева, Л.М. Герасименко // Доклады АН СССР. – 1970. – № 4. – С. 966-968.
44. ГОСТ 26207-91 Определение подвижных форм фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. Государственный стандарт союза ССР. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 7 с.
45. ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества. Государственный стандарт союза ССР. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 8 с.
46. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение рН по методу ЦИНАО. Государственный стандарт союза ССР. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – С. 3-6.
47. ГОСТ 26490-85 Почвы. Определение подвижной серы по методу ЦИНАО. Государственный стандарт союза ССР – М.: Изд-во стандартов. – 1986. – 4 с.
48. ГОСТ 4389-72 Вода питьевая. Методы определения содержания сульфатов. Межгосударственный стандарт – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 10 с.

49. Григорьев, А.А. Некоторые результаты исследования круговорота серы в Горьковской области / А.А.Григорьев, А.С. Фатьянов // Агрохимия. – 1973. – № 5. – С. 102-107.
50. Державин, Л.М. Методические указания по применению удобрений, содержащих серу / Л.М. Державина, Ж.С. Рафеялаян, П.А. Баранов, М.П. Школь и др. – М., 1983. – С. 3-10.
51. Дмитриенко, П.О. Влияние различных форм минеральных удобрений на содержание крахмала и аскорбиновой кислоты в клубнях картофеля / П.О. Дмитриенко, М.С. Головащук // Украинский биохимический журнал. – 1962. – Т. 34, № 6. – С. 863-870.
52. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1985. – 351 с.
53. Евдокимова, М.А. Характеристика почв опытного поля МарГУ в с. Ежово / М.А. Евдокимова // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы международной научно-практической конференции. – Йошкар-Ола, 2012. – Вып. XV. – С. 75-76.
54. Егоров, Г.С. Влияние серы, гипса и некоторых серосодержащих удобрений на агрохимические свойства светлых серых лесных почв и урожай сельскохозяйственных культур в условиях Предкамья Тат. АССР: автореф. дис. .канд. с. – х. наук: 06.01.04 / Егоров Геннадий Степанович. – М.: Пушкин, 1982. – 16 с.
55. Елькина, Г.Я. Сера в питании растений на подзолистых почвах / Г.Я. Елькина // Аграрный вестник Урала. – 2010. – № 12 (79). – С. 8-10.
56. Иваницкий, Я.В. Влияние серы на фотосинтетический аппарат, зерновую продуктивность и качество зерна озимой пшеницы / Я.В. Иваницкий, Ю.Ф. Осипов, В.И. Каленич // Аграрная наука. – 2011. – № 4. – С. 12-14.
57. Иванов, Н.В. География Марийской АССР / Н.В. Иванов. – Йошкар-Ола, 1985. – 77 с.

58. 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 Международной научно-практической конференции. – Йошкар-Ола, 2016.– Вып. XVIII. – С. 100-102.

59. 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 Международной научно-практической конференции. – Йошкар-Ола, 2017.– Вып. XIX. – С. 10-12.

60. Исайчев, В.А. Влияние макроэлементов и регуляторов роста на динамику содержания азота, фосфора, калия и серы в растениях озимой пшеницы сорта бирюза в условиях лесостепи среднего Поволжья / В.А. Исайчев, Н.Н. Андреев, Д.В. Плечов // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2016. – № 1 (33). – С. 25-32.

61. Исайчев, В.А. Влияние минеральных удобрений и регуляторов роста на урожайность и качество зерна ячменя / В.А. Исайчев, Н.Н. Андреев, А.Р.Абдулмянов, Е.В. Ракова // Материалы Международного научно-практической конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы, и пути их решения». – Ульяновск, 2016. – Т.2. – С. 275-281.

62. Исайчев, В.А. Действие регуляторов роста и минеральных удобрений на показатели водного режима растений ячменя /В.А. Исайчев, Н.Н. Андреев, А.Р.Абдулмянов // Сборник научных трудов «Актуальные проблемы аграрной науки и пути их решения». – Кинель: РИЦ СГСХА. – 2016. – С. 83-86.

63. Исайчев, В.А. Применение регуляторов роста и минеральных удобрений в технологии возделывания кормового ячменя в условиях

Ульяновской области / В.А. Исайчев, Н.Н. Андреев, А.М. Кинжалиева, А.Р. Абдулмянов // Материалы 4 Всероссийской научно-практической конференции. «Инновационные технологии в АПК: теория и практика». – Пенза, 2016. – С. 49-53.

64. Исайчев, В.А. Продуктивность кормового ячменя в условиях среднего Поволжья при использовании регуляторов роста и минеральных удобрений / В.А. Исайчев, Н.Н. Андреев // В сборнике: Актуальные вопросы применения удобрений в сельском хозяйстве Материалы Международной научно-практической конференции посвященной 80-летию со дня рождения ученого-агрохимика, заслуженного деятеля науки России, заслуженного работника высшей школы России, Заслуженного деятеля науки и техники Северной Осетии, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Созырко Хасанбековича Дзанагова. – 2017. – С. 72-74.

65. Исайчев, В.А. Фотосинтетический потенциал растений озимой пшеницы под влиянием регуляторов роста и минеральных удобрений в условиях среднего Поволжья / В.А. Исайчев, Н.Н. Андреев, И.Р. Рахметулова, А.Г. Липатова // Сборник статей: в 3 кн. XII Международная научно-практическая конференция. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2017. – С. 127-128

66. Кардиналовская, Р.И. Влияние серы на урожай и качество культур / Р.И. Кардиналовская, А.В. Лазурский // Агрохимия. – 1977. – № 10. – С. 10-18.

67. Кардиналовская, Р.И. Реакция сельскохозяйственных культур на улучшение серного питания / Р.И. Кардиналовская // Химия в сельском хозяйстве. – 1984. – № 3. – С. 21-36.

68. Кауричев, И.С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв / И.С. Кауричев, Д.С. Орлов. – М.:Колос, 1982. – 242 с.

69. Кегля, Г.М. Влияние условий питания на содержание белков и серы в семенах фасоли / Г.М. Кегля // Агрохимия. – 1971. – № 4. – С. 59-63.

70. Копщик, Г.Н. Кислотность и катионно-обменные свойства почв лесных экосистем национального парка «Русский север» / Г.Н Копщик, С.Ю. Ливанцова // Почвоведение. – 2003. – № 6. – С. 670-681.
71. Кореньков, Д.А. Продуктивное использование минеральных удобрений / Д.А. Кореньков. – М.: Россельхозиздат, 1985. – 221 с.
72. Коротков, А.А. Вымывание элементов питания из дерново-подзолистых суглинистых почв суходольного луга / А.А. Коротков, О.А. Буркова // Почвоведение. – 1994. – № 3. – С. 63-64.
73. Кретович, В.Л. Биохимия зерна и хлеба / В.Л. Кретович. – М.: Наука, 1991. – 136 с.
74. Крупская, З.К. Распределение серы по профилю черноземов Донбасса / З.К. Крупская // Агрехимия и почвоведение: Респ. межведомст. темат. научный сборник – 1974. – Вып. 25. – С. 21-22.
75. Кузнецов, Е.Н. Влияние серосодержащих удобрений на урожай ячменя в условиях Западного Полесья УССР / Е.Н. Кузнецов, П.И. Зиньчук, М.Ю. Тарасюк // Серное питание и продуктивность растений. – Киев, 1983. – С. 87-90.
76. Кулаковская, Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений / Т.Н. Кулаковская. – М., 1990. – 218 с.
77. Лавриненко, Г.Т. Влияние серы на некоторые биохимические процессы в растениях гороха / Г.Т. Лавриненко. – Л.: Изд-во ВИ, 1968. – Вып. 9(13). – С. 233-238.
78. Лагутченко, С.В. Некоторые аспекты утилизации газовой серы / С.В. Лагутченко, А.А. Мухутдинов, Н.Н. Сафин и др. // Химическая промышленность. – 2001. – № 2. – С. 33-35.
79. Лебедев, Е.А. Эффективность фосфогипса на лёгких дерново-подзолистых почвах: автореф. дис. ... канд. с. - х. наук: 06.01.04 / Лебедев Евгений Алексеевич. – БелНИИЗ, Жодино, 1973. – 20 с.

80. Лысенко, В.Ф. Влияние серы на обмен веществ и урожай сельскохозяйственных культур / В.Ф. Лысенко // Известия АН Латвийской ССР. – 1973. – № 7. – С. 311.

81. Макроэлементы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://fizrast.ru/kornevoe-pitanie/fiz-rol/makro-mikro/makroelementy.html> (дата обращения: 12.08.2016).

82. Мальцев, В.Ф. Система биологизации земледелия Нечерноземной зоны России / В.Ф. Мальцев, М.К. Каюмов. – М.: ФГНУ Росинформагротех, 2002. – Т. 2. – 574 с.

83. Мамедов Р.Ю. Влияние серы на урожай и качество кукурузы / Р.Ю. Мамедов // Агрохимия. – 1978. – № 1. – С. 113-114.

84. Мамедов, Р.Ю. Влияние серы на урожай и качество картофеля / Р.Ю. Мамедов // Агрохимия. – 1976. – № 1. – С. 101-103.

85. Мамедов, Р.Ю. Влияние серы на урожай и качество озимой пшеницы / Р.Ю. Мамедов // Агрохимия. – 1981. – № 7. – С. 74-77.

86. Маслова, И.Я. Воздействие содержащих серу азротехногенных веществ на некоторые агрохимические значимые процессы и свойства почв / И.Я. Маслова // Агрохимия. – 2008. – №6. – С. 80-94.

87. Маслова, И.Я. Диагностика и регуляция питания яровой пшеницы серой / И.Я. Маслова. – Новосибирск: В.О. «Наука». Сибирская издательская фирма, 1993. – 124 с.

88. Маслова, И.Я. Оптимизация питания яровой пшеницы серой / И.Я. Маслова // Земледелие. – 2010. – №1. – С.16-17.

89. Маслова, И.Я. Роль серы в использовании яровой пшеницей высоких доз азотно-фосфорно-калийных удобрений / И.Я. Маслова // Агрохимия. – 1987. – № 4. – С. 51-60.

90. Маслова, И.Я. Роль серы в продукционном процессе и усвоении азота в период налива зерна яровой пшеницы / И.Я. Маслова, Т.Г. Якушева // Агрохимия. – 2004. – №7. – С. 22-32.

91. Маслова, И.Я. Условия возникновения относительного дефицита

серы и особенности его влияния на продуктивность яровой пшеницы / И.Я. Маслова // *Агрохимия*. – 1980. – № 4. – С. 82-88.

92. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть. – М.: Колос, 1985. – 267 с.

93. Минеев, В.Г. Актуальные проблемы плодородия почв, биологизации земледелия и получения экологически чистой продукции. Тезисы докладов международного симпозиума / В.Г. Минеев // *Агрохимия*. – 1995. – № 4. – С. 108-109

94. Морозов, В. И. Влияние серосодержащих удобрений на урожай и качество культур севооборота / В. И. Морозов, Н. Г. Иванов, Е. Г. Кархалева // *Агрохимия*. – 1976. – № 4. – С. 56-60.

95. Мосолов, М.П. Влияние серы на урожай сельскохозяйственных растений / М.П. Мосолов, Л.П. Волейдт // *Удобрение и урожай*. – 1959. – № 7. – С. 40-42.

96. Никитишен, В.И. Влияние уровня азотного питания на потребление серы растениями ячменя / В.И. Никитишен, В.И. Личко // *Агрохимия*. – 2010. – № 8. – С. 10-14.

97. Никитишен, В.И. Кругооборот и баланс серы в земледелии / В.И. Никитишен, Л.К. Дмитриева // *Агрохимия*. – 1983. – № 9. – С. 113-124.

98. Никитишен, В.И. Сера в питании кукурузы на серой лесной почве ополья Центральной России / В.И. Никитишен, В.И. Личко // *Агрохимия*. – 2011. – № 9. – С. 51-54.

99. Ничипорович, А.А. Фотосинтез и урожай / А.А. Ничипорович. – М.: Знание, 1966. – 48 с.

100. Новоселов, С.И. 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.

101. Новоселов, С.И. 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.
102. Новоселов, С.И. Роль фотохимического фактора в деструкции гумусовых веществ почвы / С.И. Новоселов, А.А. Завалин // *Агрохимия*. – 2013. – № 1. – С. 59–64.
103. Нортон, Р. Значение серы в питании растений / Р. Нортон, Р. Миккелсен, Т. Дженсен // *Питание растений*. – 2014. – №3. – С. 3-5.
104. Оганесова, О.А. Соотношение подвижных и валовых форм серы в основных типах почв Ставропольского края / О.А. Оганесова, В.И. Фаизова, А.М. Никифорова, Д.В. Калугин // *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. – № 4. – С. 368.
105. Оголева, В.П. Содержание и закономерности распределения валовой серы в почвах Волгоградской области / В.П. Оголева, Г.А. Вершинина // *Агрохимия*. – 1976. – № 3. – С. 89-91.
106. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 400 с.
107. Орлов, Д.С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении / Д.С. Орлов, Л.И. Садовникова, И.Н. Лозановская. – М.: Высшая школа, 2002. – 334 с.
108. Осацкий, Л.Г. Способ пополнения запасов серы в почвах / Л.Г. Осацкий // *Факел*. – 2000. – № 2-3. – С. 10-14.
109. Пайкова, И.В. Влияние содержащих серу удобрений на накопление азота бобовыми культурами / И.В.Пайкова. – М.: Изд-во ВНИИ кормов, 1968. – С. 103-106.
110. Панасин, В.И. Сера и урожай / В.И. Панасин, В.Д. Слобожанинова, Н.В. Лопатина. – Изд-во «КГТ», Калининград, 1999. – 150 с.
111. Панников, В.Д. Почва, климат, удобрение и урожай / В.Д. Панников, В.Г. Минеев. – М.: Колос, 1977. – 412 с.

112. Пейве, Я.В. Биохимия почв / Я.В. Пейве. – М.: Сельхозгиз, 1961. – 422 с.
113. Попов, Н.А. Экономика сельского хозяйства / Н.А. Попов. – М.: Издательство «Дело и Сервис», 2001. – 368 с.
114. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
115. Предко, И.Г. О влиянии серы на урожай и качество зерна озимой пшеницы на мощном малогумусном чернозёме Левобережной Лесостепи УССР / И.Г. Предко, И.С. Шаповал // Серное питание и продуктивность растений. – Киев, 1983. – С. 30-44.
116. Прижукова, В.Г. Методические указания по определению серы в растениях и кормах растительного происхождения / В.Г. Прижукова, А.А. Шаймухаметова, М.В. Трюхова. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. – 8 с.
117. Прянишников, Д.Н. Избранные сочинения. В 3-х томах / Д.Н. Прянишников. – М.: Колос, 1965. – Т. 1. – 767 с., Т. 2. – 708 с., Т. 3. – 640 с.
118. Самоенко, А.С. Влияние микроэлементов и серы на урожайность и качество озимой пшеницы в условиях типичного и обыкновенного чернозёмов Воронежской области: автореф. дис. ... кандидат с.-х. наук: 06.01.04 / Самоенко Андрей Сергеевич. – Москва, 2011. – 27 с.
119. Серное питание и продуктивность растений: сборник научных трудов. – Киев: Наук думка, 1983. – 234 с.
120. Слуцкая, Л.Д. Сера как удобрение / Л.Д. Слуцкая // Агрохимия. – 1972. – № 1. – С. 130-148.
121. Слюсарев, В.Н. Агроэкологические проблемы серного питания озимой пшеницы, выращиваемой различными технологиями на чернозёме выщелоченном Северо-Западного Предкавказья / В.Н. Слюсарев // Труды Кубанского ГАУ. – 2007. – № 7. – С. 73-76.

122. Слюсарев, В.Н. Баланс серы при возделывании озимой пшеницы различными технологиями / В.Н. Слюсарев // Труды Кубанского ГАУ. – 2008. – № 13. – С. 101-106.
123. Слюсарев, В.Н. Группировка почв Северо-Западного Кавказа по содержанию и запасам серы / В.Н. Слюсарев // Труды Кубанского ГАУ. – 2008. – № 12. – С. 124-128.
124. Слюсарев, В.Н. Легкорастворимая сера в почвах предгорий Кубани и обеспеченность ею растений / В.Н. Слюсарев // Труды Кубанского СХИ. – 1989. – Вып. 301(329). – С. 82-87.
125. Слюсарев, В.Н. Применение серных удобрений при возделывании озимой пшеницы на черноземе выщелоченном / В.Н. Слюсарев // Плодородие. – 2007. – № 2. – С. 34.
126. Слюсарев, В.Н. Свойства черноземов западного Предкавказья и обеспеченность их серой / В.Н. Слюсарев // Труды Кубанского ГАУ. – 2006. – № 2. – С. 157-166.
127. Слюсарев, В.Н. Сера в дерново-карбонатных и бурых лесных почвах Северо-Западного Кавказа / В.Н. Слюсарев // Труды Кубанского ГАУ. – 1999. – Вып. 373 (401). – С. 109-129.
128. Слюсарев, В.Н. Сера в почвах Северо-Западного Кавказа (агроэкологические аспекты): монография / В. Н. Слюсарев. – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2007. — 230 с.
129. Слюсарев, В.Н. Сера в чернозёмах выщелоченных Западного Предкавказья и перспективы применения серосодержащих удобрений под масличные культуры / В.Н. Слюсарев, Н.М. Тишков, А.А. Дряхлов, А.П. Пинчук // Труды Кубанского ГАУ. – 2014. – № 49. – С 58-62.
130. Слюсарев, В.Н. Формы органической серы в бурых лесных почвах низких и средних гор Северо-Западного Кавказа // В.Н. Слюсарев, Т.В. Швец, Ю.С. Попова // Труды Кубанского ГАУ. – 2016. – № 62. – С. 105-111.

131. Смирнов, В.Н. Почвы Марийской АССР, их генезис, эволюция и пути улучшения / В.Н. Смирнов. – Йошкар-Ола, 1968. – 531 с.
132. Смирнов, Ю.А. Повышение урожаев и качества сельскохозяйственной продукции при использовании серных удобрений / Ю.А. Смирнов. – М.: ВНИИТЭСХ, 1985. – 61 с.
133. Сулейманов, И.Р. Агрохимическая оценка эффективности применения серосодержащих удобрений на серой лесной почве Предволжья Республики Татарстан: дис... канд. с.-х. наук: 06.001.04 / Сулейманов Ильнур Рашитович – Казань, 2011. – 247 с.
134. Сулейманов, И.Р. Действие серосодержащих удобрений на урожайность ярового рапса и потребление макроэлементов растениями в условиях серой лесной почвы / И.Р. Сулейманов, М.Ю. Гилязов // Агрохимический вестник. – 2010. – № 4. – С. 20-22.
135. Сырый, Н.М. Действие серосодержащих удобрений на урожай и качество сельскохозяйственных культур на черноземах мощных: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Н.М. Сырый. – Харьков, 1970. – 21 с.
136. Сырый, Н.М. Последствие серосодержащих и минеральных удобрений на урожай и качество люцерны на черноземе мощном / Н.М. Сырый // Труды Харьковского СХИ. – 1972. – Т. 161. – С. 194-202.
137. Сырый, Н.М. Содержание серы в мощных чернозёмах Харьковщины и эффективность серосодержащих удобрений / Н.М. Сырый, Е.Г. Мамонтова // Труды Харьковского СХИ. – 1973. – Т.189. – С. 79-82.
138. Танделов, Ю.П. Агрохимические свойства чернозёмов Красноярского края и проблема известкования / Ю.П. Танделов, О.В. Ерышева // Плодородие. – 2005 – №2 (23). – С. 18-19.
139. Тишков, Н. М. Применение серосодержащих удобрений под масличные культуры на чернозёмах выщелоченных / Н.М. Тишков, А.А. Дряхлов, В.Н. Слюсарев // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИ масличных культур. – 2014. – № 2 (159-160). – С. 124-130.

140. Тонконоженко, Е.В. Подвижная сера в серых лесостепных и лесных почвах Северо-Западного Предкавказья / Е.В. Тонконоженко // Труды Кубанского СХИ. – 1989. – Вып. 301(329). – С. 77-82.
141. Тонконоженко, Е.В. Формы серы в серых лесостепных почвах Северо-Западного Кавказа / Е.В. Тонконоженко // Почвоведение. – 1987. – №8. – С. 120-126.
142. Третьяков, Н.Н. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Н.И. Третьяков, Е.И. Кошкин, Н.М. Макрушин и др.// Под ред. Н. Н. Третьякова. – М.: Колос, 1998. – 640 с.
143. Убугунов, Л.Л. Сера в аллювиальных почвах бассейна Селенги / Л.Л. Убугунов // Почвоведение. – 2000. – № 6. – С. 716-722.
144. Фомин, П.И. Влияние сульфата кальция на агрохимические свойства почвы и поступление серы и молибдена в растениях / П.И. Фомин, О.Г. Фомина // Агрохимия. – 1976. – №9. – С. 107-111.
145. Фомин, П.И. Баланс серы в полевом опыте с картофелем на дерново-подзолистой почве / П.И.Фомин, О.Г.Фомина // Химия в сельском хозяйстве. – 1975. – № 7. – С. 28-30.
146. Фомин, П.И. Влияние CaSO_4 на урожай и накопление азота бобовыми культурами на дерново-подзолистой почве / П.И.Фомин, О.Г.Фомина, А.П. Черноухина // Химия в сельском хозяйстве. – 1972. – № 6. – С. 40-42.
147. Фомин, П.И. Влияние CaSO_4 на урожай и накопление азота бобовыми культурами на дерново-подзолистой почве / П.И. Фомин, О.Г. Фомина, А.П. Чернухина // Агрохимия. – 1972. – № 6. – С. 109-113.
148. Фомин, П.И. Влияние различных уровней молибденового и серного питания на бобовые растения / П.И. Фомин, О.Г. Фомина, А.П. Черпухина // Агрохимия. – 1971. – №7. – С. 123-127.
149. Фомин, П.И. Поступление серы из атмосферы в Подмосковье / П.И. Фомин // Химия в сельском хозяйстве. – 1977. – № 6. – С. 17-21.

150. Фомин, П.И. Сыромолотый гипс – ценное серосодержащее удобрение / П.И. Фомин, И.У. Вальников // Нива Татарстана. – 2003. – № 4. – С. 8-9.
151. Фомина, О.Г. Влияние нитрофоски азотно-сульфатной и нитрофоски на урожай и поступление серы в растения на дерново-подзолистой почве / О.Г. Фомина, А.П. Чернухина, Ф.В. Янишевский // Агрохимия. – 1979. – № 9. – С. 71-77.
152. Ха Куанг Хай. Подвижная сера в лесостепных почвах Северо-Западного Предкавказья / Ха Куанг Хай // Труды Кубанского СХИ. – 1983. – Вып. 226 (254). – С. 118-121.
153. Хала, В.Г. О регулировании баланса серы в Волгоградской области / В.Г. Хала, В.И. Филин // Агрохимический вестник. – 2001. – № 5. – С. 19-20.
154. Хоменко, А.Д. Пути регуляции процессов и способов корневого питания растений / А.Д. Хоменко. – Киев: Наукова думка, 1978. – С. 117-164.
155. Хоменко, А.Д. Серное питание и продуктивность растений / А.Д. Хоменко // Серное питание и продуктивность растений. – Киев, 1983. – С. 5-29.
156. Церлинг, В.В. Влияние уровня серного питания на формирование урожая злаковых, бобовых и крестоцветных растений / В.В. Церлинг, А.А. Ерофеев // Агрохимия. – 1972. – №4. – С. 74-84.
157. Церлинг, В.В. Диагностика обеспеченности серой злаковых, бобовых и крестоцветных / В.В. Церлинг, А.А. Ерофеев // Агрохимия. – 1973. – № 6. – С. 43-49.
158. Чернова, Л.М. Диагностика и способы регуляции серного питания растений / Л.М. Чернова, А.Д. Хоменко // Пути регуляции процессов и способов корневого питания растения. – Киев, 1978. – С. 117-139.
159. Чернова, Л.М. Серное питание и продуктивность картофеля в условиях Полесья / Л.М. Чернова, Н.Е. Власенко, Л.А. Шевченко // Серное питание и продуктивность растений. – Киев, 1983. – С. 136-141.

160. Шевякова, Н.И. Метаболизм серы в растениях / Н.И. Шевякова. – М.: Наука, 1979. – 167 с.
161. Шеуджен, А.Х. Удобрения, почвенные грунты и регуляторы роста растений / А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, В.В. Прокопенко. – Майкоп.: ГУРИПП «Адыгея», 2005. – 404 с.
162. Шеуджен, А.Х. Валовое содержание серы и её формы в чернозёме выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х. Шеуджен, В.Н. Слюсарев, Т.Н. Бондарева // Плодородие. – 2014. – № 4 (79). – С. 29-30.
163. Шеуджен, А.Х. Влияние длительного применения удобрений на содержание серы и трансформацию ее соединений на черноземе выщелоченном / А.Х. Шеуджен, В.Н. Слюсарев, Т.Н. Бондарева, О.А. Гуторова, М.А. Осипов, С.В. Есипенко // Труды Кубанского ГАУ. – 2015. – № 53. – С. 173-177.
164. Ширшов, В.А. Влияние серосодержащих удобрений на накопление азота растениями вики / В.А. Ширшов, И.Н. Пайкова // Агрохимия. – 1968. – № 10. – С. 140-143.
165. Ширшов, В.А. Использование серы и серосодержащих соединений однолетними бобовыми растениями вики / В.А. Ширшов, И.Н. Пайкова // Химия в сельском хозяйстве. – 1969. – № 6. – С. 8-11.
166. Шкель, М.П. Влияние серосодержащих удобрений на плодородие почвы и урожай полевых культур / М.П. Шкель, Р.Д. Андрюнина, И.А. Жукова // Агрохимия. – 1979. – № 12. – С. 30-31.
167. Шкель, М.П. Роль серосодержащих удобрений в повышении эффективности земледелия на дерново-подзолистых почвах / М.П. Шкель // Система земледелия в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства как основа ведения сельского хозяйства. – 1982. – С.112-117.
168. Шорин, В.М. Интенсификация земледелия в Марийской АССР / В.М. Шорин. – Йошкар-Ола: Марийское кн. изд-во, 1990. – 224 с.
169. Шугля, З.М. Выяснение потребности растений в сере и

эффективность фосфогипса на дерново-подзолистых суглинистых почвах западной части БССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Шугля Зоя Михайловна // Бел НИИ земледелия. – Жодино, 1969. – 20 с.

170. Шур, А.М. Высокомолекулярные соединения / А.М. Шур. – М.: Высшая школа. – 1961. – С. 637.

171. Яппаров, Ф.Ш. Сульфатный раствор как серное удобрение / Ф.Ш. Яппаров и др. // Агрехимия. – 1973. – № 6. – С. 40-45.

172. Beaton, J.D. Crop responses to sulphur in North America / J.D. Beaton, S.L. Tisdale, J. Platou // The sulphur institute. Technical Bulletin. – 1971. – № 18. – 34 p.

173. Bergseth, H. Verteilung von Gesamt-Schwefel und Sulfationen verschiedener Bindungsstärke in Norwegischen / H. Bergseth // Acta agr. Scand. – 1978. – Vol. 28. – № 3. – P. 313-322.

174. Bettany, J. The nature and forms of soils selected along an environmental gradient / J. Bettany // Soil Sc. Soc. – 1979. – Vol. 43. – P. 981-985.

175. Byers, M. Effects of nitrogen and sulphur fertilizers on the yield, N and S content, and amino acid composition of the grain on spring wheat / M. Byers, J. Bolton // Journal of Science and Food Agr. – 1979. – Vol. 30. – P. 251-263.

176. Chatterjee, C. Zinc stress in mustard as altered by sulfur deficiency / C. Chatterjee, Sinha Pratima, B.K. Dube // J. Plant Nutr. – 2005. – Vol. 28, № 4. – P. 683-690.

177. Coleman, R. The importance of sulphur as a plant nutrient in world crop production / R. Coleman. – Soil Sci., 1966. – Vol. 101. – № 4. – P. 230-239.

178. Colwell, J.D. Assessments of potassium and sulphur fertilizer requirements of wheat in Western Australia / J.D. Colwell, M.S. Grove // Australian Journal of Experimental Agr. And Animal Husbandry. – 1976. – Vol. 16. – P. 748-754.

179. Elke, B. Einfluss der Stickstoff - und Schwefelversorgung auf den Alliumgehalt von Zwiebeln (*Allium cepa* L.) und Knoblauch (*Allium sativum* L.) /

B. Elke // Bundesforschungsanst. Landwirt. (Fal). Jahresbericht, 2003. – Braunschweig, 2003. – P. 14.

180. Grant, C.A. Sulphur fertilizer and tillage effects on canola seed quality in the Black soil zone of western Canada / C.A. Grant, G.W. Clayton, A.M. Johnston // Canadian Journal of Plant Science. – 2003. – Vol. 83, № 4. – P. 745-758.

181. Herath, H.M.W. Effects of temperature and photo-period on winged bean *Psophocarpus tetragonolobus* (L.) DC / H.M.W. Herath, D.P. Ormrod // Annals of Botany. – 1979. – Vol.43. – P. 729-736.

182. Hojjati, S.M. Amino acid patterns of kidney beans grown under different S and K regime / S.M. Hojjati // Agron J. – 1976. – Vol. 68. – №6. – P. 668-671.

183. Isaichev, V.A. Influence of growth regulators and mineral fertilizers on water regime and yielding capacity of barley plants / V.A. Isaichev, N.N. Andreev, K.A. Vinogradova // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2018. – T. 9. – № 2. – P. 1197-1201.

184. Isaichev, V.A. The content of macroelements in barley grain after application of growth regulators and mineral fertilizers / V.A. Isaichev, N.N. Andreev, K.A. Vinogradova // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2018. – T. 9. – № 2. – P. 1202-1206.

185. Jsmunadji, M. Sulphur deficiency of lowland rice in Indonesia / M. Jsmunadji, L. Zulkarhaini // Sulphur in Agr. – 1978. – Vol. 2. – P. 17-19.

186. Koter, M. Nauk rolnichyeh ser. / M. Koter, W.R. Yrzesiuk – 1966. – Vol. 92. – № 1.

187. Malhi, S.S. Influence of four successive annual applications of elemental S and sulphate-S fertilizers on yield S uptake and seed quality of canola / S.S. Malhi // Can. J. Plant Sci. – 2005. – Vol.85, № 4. – P. 777-792.

188. Moinuddin, U.S. Influence of combined application of potassium and sulfur on yield, quality, and storage behavior of potato / U.S. Moinuddin // Commun. Soil Sci. and Anal. – 2004. – Vol. 35. – № 7-8. – P. 1047-1060.

189. Moss, H.J. Alteration to grain, flour and dough quality in three wheat types with variation in soil sulphur supply / H.J. Moss, C.W. Wrigley, J.R. Randall // *Journal of Cereal Science*. – 1983. – Vol. 1. – N 4. – P. 255–264.
190. Moss, H.J. Sulfur and nitrogen fertilizer effects on wheat p. II. Influence on grain quality / H.J. Moss, C.W. Wrigley, F. MacRitchie, J.R. Randall // *Australian journal of agricultural research*. 1981. – V. 32. – № 2. – P. 213-226.
191. Murphy, M.D. Fifteen years of sulphur research in Ireland / M.D. Murphy // *Sulphur in Agriculture*. – 1990. – Vol. 14. – P. 10-12.
192. Platóu, J.S. The fourth major nutrient / J.S. Platóu, R.J. Frisch // *Rev. Suisse agr.* – 1982. – № 4. – P. 1-32.
193. Ramamurthy, N. Effects of different sources of sulphur on the yield and quality of potato / N. Ramamurthy, L.S. Devi // *Journal of Indian Society of Soil Science*. – 1982. – Vol. 30. – № 3, – P. 405-407.
194. Randall, P.J. Sulphur and nitrogen fertilizer effects on wheat / P.J. Randall, K. Spencer, J.R. Freney // *Australian Journal of Agric. Research*. – 1981. – Vol. 32. – P. 203-212.
195. Shock, C.C. Competition for S and N by associations of three annual range species in lysimeters / C.C. Shock, M.B. Jones, A. Williams, D.M. Center // *Plant and Soil*. – 1984. – Vol. 81. – P. 311-321.
196. Steve, D. Ruhl. Adding sulfur and zinc to starter fertilizer for corn / D.R. Steve // *Ohio State Univ. Ohio Agr. Res. Dev. Cent.* – 2001. – № 179. – P. 78-79.
197. Tabatabai, M.A. Profiling S: soils, atmosphere, plants, depletion rates / M.A. Tabatabai // *Solutions*. – 1980. – Vol. 24. – № 6. – P. 44-51.
198. Tisdale, S.L. Elements of success / S.L. Tisdale // *Fertilizer progress*. – 1982. – Vol. 13. – № 6. – P. 18.
199. Tisdale, S.L. Sulphur in agriculture – 17 years of research / S.L. Tisdale // *Sulphur in Agriculture*. – 1977. – Vol. 1. – P. 2-3, 17.
200. Wang, C.H. Sulphur fertilization of rice – diagnostic techniques / C.H. Wang // *Sulphur in Agriculture*. – 1979. – Vol. 3. – P. 12-15.

201. Wrigley, C.W. Effect of sulphur deficiency on wheat quality/
C.W. Wrigley et al. // Sulphur in Agr. – 1984. – Vol. 8. – P. 2-7.

202. Wrigley, C.W. Electrofocusing of grain proteins from wheat
genotypes / C.W. Wrigley, K.W. Shepherd // Ann. N.J. Acad. Sci. – 1973. –
Vol. 209. – №1. – P. 154-162.

203. Zehler, E. Potassium sulphate and potassium chloride / E. Zehler,
H. Kreipe // International Potash Institute Research Topics. – 1981. – Vol. 9. –
P. 15-38.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Урожайность сельскохозяйственных культур, т/га

Фактор		Вико- овсяная смесь (сено), 2010 г.	Озимая рожь (зерно), 2011 г.	Картофель (клубни), 2012 г.	Ячмень (зерно), 2013 г.
Вид севооборота (А)	Удобрения (В)				
С занятым паром	Без удобрений	3,00	2,21	17,67	1,96
	НРК	3,00	4,07	22,88	2,42
С чистым паром	Без удобрений	–	2,52	17,21	2,04
	НРК	–	4,63	22,76	2,38
С сидеральным паром	Без удобрений	–	3,00	19,10	1,95
	НРК	–	4,87	23,17	2,41
НСР ₀₅ т/га фактор А			0,31	1,84	F _f < F _t
фактор В			0,25	1,44	0,25

Приложение 2

Площадь листовой поверхности картофеля в фазе цветения, тыс. м²/га

№	Вариант	2013 г.	2014 г.	2015 г.	Среднее
1	N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	25,2	23,8	21,7	23,6
2	Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	25,0	27,2	21,7	24,6
3	Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	28,7	29,8	30,1	29,5
4	Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	28,3	29,5	29,5	29,1
5	Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	27,0	28,4	27,9	27,8
6	Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	27,6	28,4	26,3	27,4
7	Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	25,6	25,5	25,4	25,5

Приложение 3

Содержание хлорофилла в листьях картофеля, мг/100 г сырой массы

№	Вариант	2013 г.	2014 г.	2015 г.	Среднее
1	N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	249,9	236,2	241,4	242,5
2	Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	289,5	239,9	232,0	253,8
3	Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	286,5	246,2	262,9	265,2
4	Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	225,4	267,6	237,8	243,6
5	Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	253,0	261,6	247,2	253,8
6	Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	262,0	244,2	233,6	246,0
7	Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	245,8	231,3	249,5	242,2

Приложение 4

Урожайность картофеля, т/га

№	Вариант	2013 г.	2014 г.	2015 г.	Среднее
1	N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	24,2	30,0	28,9	27,7
2	Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	26,0	30,1	31,1	29,1
3	Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	28,7	32,9	34,8	32,1
4	Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	25,6	32,2	33,4	30,4
5	Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	29,0	31,9	34,6	31,8
6	Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	31,3	34,1	36,8	34,1
7	Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	27,6	32,2	34,6	31,5
НСР ₀₅		1,5	1,7	2,3	1,0

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

ЗАДАЧА. Урожайность картофеля, кг/м², 2013 г.

Число факторов = 1. Число повторений = 4.

Число уровней фактора <A> = 7. Влияние серосодержащих удобрений

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

№ стр	Ф А	Повторения				Сумма	Средние
		1	2	3	4		
1		2.4300	2.3700	2.4900	2.3800	9.6700	2.4175
2		2.5900	2.5300	2.7200	2.5700	10.4100	2.6025
3		2.7900	2.6900	3.1900	2.8100	11.4800	2.8700
4		2.5900	2.5200	2.5400	2.5900	10.2400	2.5600
5		2.8200	3.0000	2.9100	2.8800	11.6100	2.9025
6		3.0700	3.0800	3.2900	3.0800	12.5200	3.1300
7		2.6500	2.7800	3.0300	2.5800	11.0400	2.7600
Сумма		18.9400	18.9700	20.1700	18.8900	76.9700	2.7489
Средние		2.7057	2.7100	2.8814	2.6986		

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ)

ДИСПЕРСИЯ	СУММА КВАДРАТОВ	СТЕПЕНИ СВОБОДЫ	СРЕДНИЙ КВАДРАТ	КОЭФФИЦ. ФИШЕРА	
				Ф-расч.	Ф-таб.
ОБЩАЯ	1.7491	27	0.0648	-	-
ВАРИАНТОВ	1.4022	6	0.2337	23.05	2.64
ПОВТОРЕНИЙ	0.1643	3	0.0548	5.40	3.15
ОШИБКИ	0.1825	18	0.0101	-	-

3. ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ).

ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ	SX	SD	НСР	НСР%
ЧАСТНЫХ РАЗЛИЧИЙ	0.050	0.071	0.150	5.439

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

ЗАДАЧА. Урожайность картофеля, кг/м², 2014 г.

Число факторов = 1. Число повторений = 4.

Число уровней фактора <A> = 7. Влияние серосодержащих удобрений

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

№ стр	Ф А	Повторения				Сумма	Средние
		1	2	3	4		
1		2.9100	3.0800	3.1200	2.8900	12.0000	3.0000
2		2.9000	2.9900	3.0100	3.1500	12.0500	3.0125
3		3.1900	3.0200	3.4000	3.3700	13.1600	3.2900
4		3.2000	3.1200	3.2900	3.2800	12.8900	3.2225
5		3.1400	3.2400	3.2100	3.1600	12.7500	3.1875
6		3.5000	3.3300	3.5300	3.2800	13.6400	3.4100
7		3.1500	3.0300	3.1800	3.5300	12.8900	3.2225
Сумма		21.9900	21.9900	22.7400	18.8900	89.3800	3.1921
Средние		3.1414	3.1414	3.2486	2.6986		

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ)

ДИСПЕРСИЯ	СУММА КВАДРАТОВ	СТЕПЕНИ СВОБОДЫ	СРЕДНИЙ КВАДРАТ	КОЭФФИЦ. ФИШЕРА	
				F-расч.	F-таб.
ОБЩАЯ	0.8317	27	0.0308	-	-
ВАРИАНТОВ	0.5124	6	0.0854	6.23	2.64
ПОВТОРЕНИЙ	0.0725	3	0.0242	1.76	3.15
ОШИБКИ	0.2468	18	0.0137	-	-

3. ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ).

ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ	SX	SD	НСР	НСР%
ЧАСТНЫХ РАЗЛИЧИЙ	0.059	0.083	0.174	5.447

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

ЗАДАЧА. Урожайность картофеля, кг/м², 2015 г.

Число факторов = 1. Число повторений = 4.

Число уровней фактора <A> = 7. Влияние серосодержащих удобрений

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

№ стр	Ф А	Повторения				Сумма	Средние
		1	2	3	4		
1		2.7500	2.8600	3.1500	2.8000	11.5600	2.8900
2		3.2400	3.2200	2.8800	3.1000	12.4400	3.1100
3		3.5500	3.4000	3.3000	3.6700	13.9200	3.4800
4		3.4200	3.3800	3.2600	3.3000	13.3600	3.3400
5		3.5600	3.5800	3.4100	3.2900	13.8400	3.4600
6		3.6600	3.7000	3.5800	3.7800	14.7200	3.6800
7		3.5000	3.7800	3.3200	3.2400	13.8400	3.4600
Сумма		23.6800	23.9200	22.9000	23.1800	93.6800	3.3457
Средние		3.3829	3.4171	3.2714	3.3114		

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ)

ДИСПЕРСИЯ	СУММА КВАДРАТОВ	СТЕПЕНИ СВОБОДЫ	СРЕДНИЙ КВАДРАТ	КОЭФФИЦ. ФИШЕРА	
				F-расч.	F-таб.
ОБЩАЯ	2.1993	27	0.0815	-	-
ВАРИАНТОВ	1.6767	6	0.2794	11.69	2.64
ПОВТОРЕНИЙ	0.0922	3	0.0307	1.29	3.15
ОШИБКИ	0.4304	18	0.0239	-	-

3. ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ).

ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ	SX	SD	НСР	НСР%
ЧАСТНЫХ РАЗЛИЧИЙ	0.077	0.109	0.230	6.863

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

ЗАДАЧА. Урожайность картофеля, кг/м², среднее за 2014, 2015 и 2016 гг.

Число факторов = 1. Число повторений = 4.

Число уровней фактора <A> = 7. Влияние серосодержащих удобрений

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

№ стр	Ф А	Повторения				Сумма	Средние
		1	2	3	4		
1		2.7000	2.7700	2.9200	2.6900	11.0800	2.7700
2		2.9100	2.9100	2.8700	2.9400	11.6300	2.9075
3		3.1800	3.1000	3.2000	3.2800	12.7600	3.1900
4		3.0700	3.0100	3.0300	3.0600	12.1700	3.0425
5		3.1700	3.2700	3.1800	3.1100	12.7300	3.1825
6		3.4100	3.3700	3.4700	3.3800	13.6300	3.4075
7		3.1000	3.2000	3.1800	3.1400	12.6200	3.21550
Сумма		21.5400	21.6300	21.8500	21.6000	86.6200	3.0936
Средние		3.0771	3.0900	3.21214	3.0857		

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ)

ДИСПЕРСИЯ	СУММА КВАДРАТОВ	СТЕПЕНИ СВОБОДЫ	СРЕДНИЙ КВАДРАТ	КОЭФФИЦ. ФИШЕРА	
				F-расч.	F-таб.
ОБЩАЯ	1.1258	27	0.0417	-	-
ВАРИАНТОВ	1.0458	6	0.1743	43.48	2.64
ПОВТОРЕНИЙ	0.0078	3	0.0026	0.65	3.15
ОШИБКИ	0.0722	18	0.0040	-	-

3. ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ).

ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ	SX	SD	НСР	НСР%
ЧАСТНЫХ РАЗЛИЧИЙ	0.032	0.045	0.094	3.039

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

ЗАДАЧА. Содержание крахмала в клубнях картофеля, %, 2013 г.

Число факторов = 1. Число повторений = 4.

Число уровней фактора <A> = 7. Влияние серосодержащих удобрений

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

№ стр	Ф А	Повторения				Сумма	Средние
		1	2	3	4		
1		18.5000	18.0000	17.9000	17.2000	71.6000	17.9000
2		18.4000	17.9000	17.3000	18.0000	71.6000	17.9000
3		20.1000	20.0000	17.9000	18.0000	76.0000	19.0000
4		18.8000	17.4000	17.0000	18.4000	71.6000	17.9000
5		18.0000	17.8000	17.9000	17.9000	71.6000	17.9000
6		17.5000	17.9000	18.4000	17.4000	71.2000	17.8000
7		18.0000	16.9000	17.5000	16.0000	68.4000	17.1000
Сумма		129.3000	125.9000	123.9000	122.9000	502.0000	17.9286
Средние		18.4714	17.9857	17.7000	17.5571		

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ)

ДИСПЕРСИЯ	СУММА КВАДРАТОВ	СТЕПЕНИ СВОБОДЫ	СРЕДНИЙ КВАДРАТ	КОЭФФИЦ. ФИШЕРА	
				Ф-расч.	Ф-таб.
ОБЩАЯ	18.2971	27	0.6777	-	-
ВАРИАНТОВ	7.4171	6	1.2362	2.98	2.64
ПОВТОРЕНИЙ	3.4171	3	1.1390	2.75	3.15
ОШИБКИ	7.4629	18	0.4146	-	-

3. ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ).

ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ	SX	SD	НСР	НСР%
ЧАСТНЫХ РАЗЛИЧИЙ	0.322	0.455	0.956	5.333

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

ЗАДАЧА. Содержание крахмала в клубнях картофеля, %, 2014 г.

Число факторов = 1. Число повторений = 4.

Число уровней фактора <A> = 7. Влияние серосодержащих удобрений

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

№ стр	Ф А	Повторения				Сумма	Средние
		1	2	3	4		
1		16.9000	18.7000	18.0000	18.0000	71.6000	17.9000
2		17.7000	19.5000	19.3000	18.7000	75.2000	18.8000
3		18.0000	20.1000	20.0000	17.9000	76.0000	19.0000
4		20.2000	19.7000	19.5000	20.2000	79.6000	19.0000
5		18.7000	19.3000	18.5000	18.7000	75.2000	18.8000
6		19.7000	20.0000	20.0000	19.5000	79.2000	19.8000
7		19.5000	19.8000	19.3000	19.0000	77.6000	19.4000
Сумма		130.7000	137.1000	134.6000	132.0000	534.4000	19.0857
Средние		18.6714	19.5857	19.2286	18.8571		

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ)

ДИСПЕРСИЯ	СУММА КВАДРАТОВ	СТЕПЕНИ СВОБОДЫ	СРЕДНИЙ КВАДРАТ	КОЭФФИЦ. ФИШЕРА	
				Ф-расч.	Ф-таб.
ОБЩАЯ	20.6943	27	0.7665	-	-
ВАРИАНТОВ	11.3943	6	1.8990	5.85	2.64
ПОВТОРЕНИЙ	3.4600	3	1.1533	3.55	3.15
ОШИБКИ	5.8400	18	0.3244	-	-

3. ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ).

ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ	SX	SD	НСР	НСР%
ЧАСТНЫХ РАЗЛИЧИЙ	0.285	0.403	0.846	4.432

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

ЗАДАЧА. Содержание крахмала в клубнях картофеля, %, 2015 г.

Число факторов = 1. Число повторений = 4.

Число уровней фактора <A> = 7. Влияние серосодержащих удобрений

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

№ стр	Ф А	Повторения				Сумма	Средние
		1	2	3	4		
1		15.5000	15.4000	14.8000	15.9000	61.6000	15.4000
2		16.2000	15.7000	16.4000	16.1000	64.4000	16.1000
3		17.5000	16.2000	17.1000	16.9000	67.7000	16.9250
4		17.0000	15.9000	16.3000	15.6000	64.8000	16.2000
5		15.8000	17.2000	16.8000	15.8000	65.6000	16.4000
6		15.9900	16.9000	16.8000	16.0000	65.6900	16.4225
7		16.2000	16.7000	15.9000	16.0000	64.8000	16.2000
Сумма		114.190	114.00015	114.1000	112.3000	454.5900	16.2354
Средние		16.3129	16.2857	16.3000	16.0429		

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ)

ДИСПЕРСИЯ	СУММА КВАДРАТОВ	СТЕПЕНИ СВОБОДЫ	СРЕДНИЙ КВАДРАТ	КОЭФФИЦ. ФИШЕРА	
				F-расч.	F-таб.
ОБЩАЯ	10.5291	27	0.3900	-	-
ВАРИАНТОВ	5.0255	6	0.8376	2.92	2.64
ПОВТОРЕНИЙ	0.3484	3	0.1161	0.41	3.15
ОШИБКИ	5.1551	18	0.2864	-	-

3. ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ).

ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ	SX	SD	НСР	НСР%
ЧАСТНЫХ РАЗЛИЧИЙ	0.268	0.378	0.795	4.895

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

ЗАДАЧА. Содержание крахмала в клубнях картофеля, %, среднее за 2013, 2014 и 2015 г.г.

Число факторов = 1. Число повторений = 4.

Число уровней фактора <A> = 7. Влияние серосодержащих удобрений

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

№ стр	Ф А	Повторения				Сумма	Средние
		1	2	3	4		
1		16.8000	17.4000	16.9000	17.0000	68.1000	17.0250
2		17.4000	17.7000	17.7000	17.6000	70.4000	17.6000
3		18.5000	18.8000	18.3000	17.6000	73.2000	18.3000
4		18.7000	17.7000	17.6000	18.0000	72.0000	18.0000
5		17.5000	18.1000	17.7000	17.5000	70.8000	17.7000
6		17.7000	18.3000	18.4000	17.6000	72.0000	18.0000
7		17.9000	17.8000	17.6000	17.0000	70.3000	17.5750
Сумма		124.5000	125.8000	124.2000	122.3000	496.8000	17.7429
Средние		17.7857	17.9714	17.7429	17.4714		

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ)

ДИСПЕРСИЯ	СУММА КВАДРАТОВ	СТЕПЕНИ СВОБОДЫ	СРЕДНИЙ КВАДРАТ	КОЭФФИЦ. ФИШЕРА	
				Ф-расч.	Ф-таб.
ОБЩАЯ	7.0486	27	0.2611	-	-
ВАРИАНТОВ	4.0336	6	0.6723	5.71	2.64
ПОВТОРЕНИЙ	0.8943	3	0.2981	2.53	3.15
ОШИБКИ	2.1207	18	0.1178	-	-

3. ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ).

ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ	SX	SD	НСР	НСР%
ЧАСТНЫХ РАЗЛИЧИЙ	0.172	0.243	0.510	2.873

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

ЗАДАЧА. Содержание сухого вещества в клубнях картофеля, %, 2013 г.

Число факторов = 1. Число повторений = 4.

Число уровней фактора <A> = 7. Влияние серосодержащих удобрений

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

№ стр	Ф А	Повторения				Сумма	Средние
		1	2	3	4		
1		19.6000	21.6000	20.8000	20.4000	82.4000	20.6000
2		21.8000	22.1000	19.9000	22.6300	86.4300	21.6075
3		22.0000	20.0000	21.0000	21.0000	84.0000	21.0000
4		19.8000	20.1000	20.0000	20.1000	80.0000	20.0000
5		19.3000	19.4000	18.7000	19.8000	77.2000	19.3000
6		18.7000	19.9000	18.5000	19.3000	76.4000	19.1000
7		19.5000	18.9000	20.0000	20.8000	79.2000	19.8000
Сумма		140.7000	142.0000	138.9000	144.0300	565.6300	20.2011
Средние		20.1000	20.2857	19.8429	20.5757		

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ)

ДИСПЕРСИЯ	СУММА КВАДРАТОВ	СТЕПЕНИ СВОБОДЫ	СРЕДНИЙ КВАДРАТ	КОЭФФИЦ. ФИШЕРА	
				Ф-расч.	Ф-таб.
ОБЩАЯ	32.1449	27	1.1906	-	-
ВАРИАНТОВ	20.0042	6	3.3340	5.92	2.64
ПОВТОРЕНИЙ	2.0024	3	0.6675	1.19	3.15
ОШИБКИ	10.1383	18	0.5632	-	-

3. ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ).

ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ	SX	SD	НСР	НСР%
ЧАСТНЫХ РАЗЛИЧИЙ	0.375	0.513	1.114	5.517

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

ЗАДАЧА. Содержание сухого вещества в клубнях картофеля, %, 2014 г.

Число факторов = 1. Число повторений = 4.

Число уровней фактора <A> = 7. Влияние серосодержащих удобрений

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

№ стр	Ф А	Повторения				Сумма	Средние
		1	2	3	4		
1		22.1000	21.6000	21.7000	21.8000	87.2000	21.8000
2		21.0000	21.6000	21.8000	21.2000	85.6000	21.4000
3		22.4000	22.5000	22.6000	22.9000	90.4000	22.6000
4		21.8000	21.9000	22.0000	21.9000	87.6000	21.9000
5		22.5000	22.8000	23.2000	21.9000	90.4000	22.6000
6		22.6000	22.0000	22.0000	22.4000	89.0000	22.2500
7		22.1000	22.9000	22.8000	22.6000	90.4000	22.6000
Сумма		154.5000	155.3000	156.1000	154.7000	620.6000	22.1643
Средние		22.0714	22.1857	22.3000	22.1000		

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ)

ДИСПЕРСИЯ	СУММА КВАДРАТОВ	СТЕПЕНИ СВОБОДЫ	СРЕДНИЙ КВАДРАТ	КОЭФФИЦ. ФИШЕРА	
				Ф-расч.	Ф-таб.
ОБЩАЯ	7.7043	27	0.2853	-	-
ВАРИАНТОВ	5.4543	6	0.9090	8.07	2.64
ПОВТОРЕНИЙ	0.2214	3	0.0738	0.65	3.15
ОШИБКИ	2.0236	18	0.1127	-	-

3. ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ).

ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ	SX	SD	НСР	НСР%
ЧАСТНЫХ РАЗЛИЧИЙ	0.168	0.237	0.498	2.249

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

ЗАДАЧА. Содержание сухого вещества в клубнях картофеля, %, 2015 г.

Число факторов = 1. Число повторений = 4.

Число уровней фактора <A> = 7. Влияние серосодержащих удобрений

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

№ стр	Ф А	Повторения				Сумма	Средние
		1	2	3	4		
1		22.6000	21.9000	22.3000	22.0000	88.8000	22.2000
2		24.9000	23.9000	23.8000	24.2000	96.8000	24.2000
3		25.8000	23.0000	25.5000	26.5000	100.8000	25.2000
4		25.7000	23.2000	25.0000	24.9000	98.8000	24.7000
5		22.0000	25.0000	25.7000	24.5000	97.2000	24.3000
6		22.9000	24.9000	22.3000	23.5000	93.6000	23.4000
7		22.5000	23.1000	23.8000	22.6000	92.0000	23.0000
Сумма		166.4000	165.0000	168.4000	168.2000	668.0000	23.8571
Средние		23.7714	23.5714	24.0571	24.0286		

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ)

ДИСПЕРСИЯ	СУММА КВАДРАТОВ	СТЕПЕНИ СВОБОДЫ	СРЕДНИЙ КВАДРАТ	КОЭФФИЦ. ФИШЕРА	
				Ф-расч.	Ф-таб.
ОБЩАЯ	50.0286	27	1.8529	-	-
ВАРИАНТОВ	26.0686	6	4.3448	3.42	2.64
ПОВТОРЕНИЙ	1.1086	3	0.3695	0.29	3.15
ОШИБКИ	22.8514	18	1.2695	-	-

3. ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ).

ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ	SX	SD	НСР	НСР%
ЧАСТНЫХ РАЗЛИЧИЙ	0.563	0.797	1.673	7.013

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

ЗАДАЧА. Содержание сухого вещества в клубнях картофеля, %, среднее за 2013, 2014 и 2015 г.г.

Число факторов = 1. Число повторений = 4.

Число уровней фактора <A> = 7. Влияние серосодержащих удобрений

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

№ стр	Ф А	Повторения				Сумма	Средние
		1	2	3	4		
1		21.4000	21.7000	21.6000	21.4000	86.1000	21.5250
2		22.6000	22.5000	21.8000	22.7000	89.6000	22.4000
3		23.4000	21.8000	23.0000	23.5000	91.7000	22.9250
4		22.4000	21.7000	22.3000	22.3000	88.7000	22.1750
5		21.3000	22.4000	22.5000	22.1000	88.3000	22.0750
6		21.4000	22.3000	20.9000	21.7000	86.3000	21.5750
7		21.4000	21.6000	22.2000	22.0000	87.2000	21.8000
Сумма		153.9000	154.0000	154.3000	155.7000	617.9000	22.0679
Средние		21.9857	22.0000	22.0429	22.2429		

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ)

ДИСПЕРСИЯ	СУММА КВАДРАТОВ	СТЕПЕНИ СВОБОДЫ	СРЕДНИЙ КВАДРАТ	КОЭФФИЦ. ФИШЕРА	
				F-расч.	F-таб.
ОБЩАЯ	10.8811	27	0.4030	-	-
ВАРИАНТОВ	5.8636	6	0.9773	3.73	2.64
ПОВТОРЕНИЙ	0.2982	3	0.0994	0.38	3.15
ОШИБКИ	4.7193	18	0.2622	-	-

3. ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ).

ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ	SX	SD	НСР	НСР%
ЧАСТНЫХ РАЗЛИЧИЙ	0.256	0.362	0.760	3.445

Содержание элементов питания в клубнях картофеля,
% на воздушно-сухую массу

№	Вариант	Годы	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
1	N ₉₀ P ₃₀ K ₁₂₀ (фон)	2013 год	1,72	0,56	1,76	0,13
		2014 год	1,73	0,47	1,65	0,12
		2015 год	1,80	0,45	1,66	0,12
2	Фон + S ₃₀ (элементарная сера)	2013 год	1,62	0,55	1,63	0,14
		2014 год	1,60	0,59	1,67	0,12
		2015 год	1,83	0,47	1,56	0,13
3	Фон + S ₆₀ (элементарная сера)	2013 год	1,47	0,57	1,74	0,15
		2014 год	1,78	0,49	1,72	0,13
		2015 год	1,73	0,47	1,95	0,17
4	Фон + S ₉₀ (элементарная сера)	2013 год	1,47	0,58	1,73	0,16
		2014 год	1,73	0,52	1,61	0,13
		2015 год	1,65	0,49	1,73	0,15
5	Фон + S ₃₀ (сульфат аммония)	2013 год	1,38	0,61	1,92	0,14
		2014 год	1,62	0,52	1,63	0,13
		2015 год	1,55	0,51	1,80	0,14
6	Фон + S ₆₀ (сульфат аммония)	2013 год	1,44	0,73	1,91	0,15
		2014 год	1,75	0,49	1,66	0,12
		2015 год	1,61	0,47	1,56	0,14
7	Фон + S ₉₀ (сульфат аммония)	2013 год	1,53	0,66	1,87	0,16
		2014 год	1,79	0,45	1,74	0,13
		2015 год	1,51	0,51	1,66	0,15

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

ЗАДАЧА. Урожайность викоовсяной смеси, т/га, 2014 г.

Число факторов = 1. Число повторений = 3.

Число уровней фактора <A> = 4.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

№ стр	Ф А	Повторения			Сумма	Средние
		1	2	3		
1		18.5000	18.5000	18.0000	55.0000	18.3333
2		19.1000	18.9000	18.5000	56.5000	18.8333
3		19.2000	19.8000	20.0000	59.0000	19.6667
4		19.5000	19.7000	21.3000	60.5000	20.1667
Сумма		76.3000	76.9000	77.8000	231.0000	19.2500
Средние		19.0750	19.2250	19.4500		

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ)

ДИСПЕРСИЯ	СУММА КВАДРАТОВ	СТЕПЕНИ СВОБОДЫ	СРЕДНИЙ КВАДРАТ	КОЭФФИЦ. ФИШЕРА	
				Ф-расч.	Ф-таб.
ОБЩАЯ	8.7300	11	0.7936	-	-
ВАРИАНТОВ	6.0833	3	2.0278	5.15	4.78
ПОВТОРЕНИЙ	0.2850	2	0.1425	0.36	5.19
ОШИБКИ	2.3617	6	0.3936	-	-

3. ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ).

ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ	SX	SD	НСР	НСР%
ЧАСТНЫХ РАЗЛИЧИЙ	0.362	0.512	1.255	6.520

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

ЗАДАЧА. Урожайность викоовсяной смеси, т/га, 2016 г.

Число факторов = 1. Число повторений = 3.

Число уровней фактора <A> = 4.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

№ стр	Ф А	Повторения			Сумма	Средние
		1	2	3		
1		19.6000	18.2000	18.1000	55.9000	18.6333
2		20.2000	21.1000	20.3000	61.6000	20.5333
3		21.7000	22.6000	22.4000	66.7000	22.2333
4		21.7000	22.9000	23.2000	67.8000	22.6000
Сумма		83.2000	84.8000	84.0000	252.0000	21.0000
Средние		20.8000	21.2000	21.0000		

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ)

ДИСПЕРСИЯ	СУММА КВАДРАТОВ	СТЕПЕНИ СВОБОДЫ	СРЕДНИЙ КВАДРАТ	КОЭФФИЦ. ФИШЕРА	
				Ф-расч.	Ф-таб.
ОБЩАЯ	33.3000	11	3.0273	-	-
ВАРИАНТОВ	29.7000	3	9.9000	18.11	4.78
ПОВТОРЕНИЙ	0.3200	2	0.1600	0.29	5.19
ОШИБКИ	3.2800	6	0.5467	-	-

3. ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ).

ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ	SX	SD	НСР	НСР%
ЧАСТНЫХ РАЗЛИЧИЙ	0.427	0.604	1.479	7.043

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

ЗАДАЧА. Урожайность викоовсяной смеси, т/га, среднее за 2014 и 2016 гг..

Число факторов = 1. Число повторений = 3.

Число уровней фактора <A> = 4.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

№ стр	Ф А	Повторения			Сумма	Средние
		1	2	3		
1		19.0500	18.3500	18.0500	55.4500	18.4833
2		19.6500	20.0000	19.4000	59.0500	19.6833
3		20.4500	21.2000	21.2000	62.8500	20.9500
4		20.6000	21.3000	22.2500	64.1500	21.3833
Сумма		79.7500	80.8500	80.9000	241.5000	20.1250
Средние		19.9375	20.2125	20.2250		

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ)

ДИСПЕРСИЯ	СУММА КВАДРАТОВ	СТЕПЕНИ СВОБОДЫ	СРЕДНИЙ КВАДРАТ	КОЭФФИЦ. ФИШЕРА	
				Ф-расч.	Ф-таб.
ОБЩАЯ	17.9175	11	1.6289	-	-
ВАРИАНТОВ	15.4625	3	1.1542	13.78	4.78
ПОВТОРЕНИЙ	0.2113	2	0.1056	0.28	5.19
ОШИБКИ	2.2437	6	0.3740	-	-

3. ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ. (РЕНДОМИЗ. ПОВТОРЕНИЯ).

ОЦЕНКА СУЩЕСТВЕННОСТИ	SX	SD	НСР	НСР%
ЧАСТНЫХ РАЗЛИЧИЙ	0.353	0.499	1.223	6.078