

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет  
имени П.А. Столыпина»

На правах рукописи

Захарова Дарья Александровна

**СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНОЙ СЕРЫ В ПОЧВАХ УЛЬЯНОВСКОЙ  
ОБЛАСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ УДОБРЕНИЙ  
НА ЧЕРНОРЗЕМАХ ЛЕСОСТЕПИ ПОВОЛЖЬЯ**

Специальность 06.01.04 – Агрохимия

диссертация на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:  
доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор Куликова А.Х.

Ульяновск 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Сера в системе «почва–растение» (обзор литературных сведений).....	9
1.1. Сера в почве и растениях.....	9
1.2. Эффективность серосодержащих удобрений.....	21
2. Условия и методика проведения исследований.....	29
2.1 Почвенно–климатическая характеристика опытного поля .....	29
2.1.1 Агроклиматические условия.....	29
2.1.2 Особенности почвенного покрова.....	33
2.2. Схема полевого опыта и её обоснование .....	36
2.3. Технология возделывания яровой пшеницы.....	37
2.4. Методы наблюдений, учетов и анализов.....	40
3. Содержание подвижных соединений серы в почвах Ульяновской области.....	42
4. Влияние серосодержащих соединений и минерального удобрения на свойства чернозема выщелоченного.....	52
4.1. Динамика нитратных и аммонийных соединений азота в почве...	52
4.2. Динамика содержания гумуса, подвижных соединений фосфора и обменного калия в почве.....	58
4.3. Динамика сульфатной серы в почве и кислотности.....	65
5. Урожайность и качество продукции яровой пшеницы в зависимости от применения в технологии её возделывания серосодержащих соединений.....	73
5.1. Урожайность.....	73
5.2. Содержание и вынос основных макроэлементов и серы.....	80
5.3. Экологическая оценка продукции.....	89
6. Баланс элементов питания в черноземе выщелоченном при использовании в технологии возделывания яровой пшеницы серосодержащих соединений и минерального удобрения.....	92

6.1. Баланс азота.....	92
6.2. Баланс фосфора.....	95
6.3. Баланс калия.....	97
6.4. Баланс серы.....	98
6.5. Интенсивность баланса.....	100
7. Экономическая и биоэнергетическая эффективность технологий возделывания яровой пшеницы с применением элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения.....	103
Заключение .....	110
Предложение производству .....	114
Список цитированной литературы.....	115
Приложения .....	139

## ВЕВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** О положительной роли серы в протекании физиологических процессов в растениях сельскохозяйственных культур свидетельствуют многочисленные исследования российских и зарубежных учёных, проводимых на протяжении более полувека (Anderson O., 1966; Слуцкая Л.Д., 1972; Слюсарев В.Н., 2005; Аристархов А.Н., 2007; Маслова И.Я., 2008; Новоселов С.И., Толмачев Н.И., Иванова А.В., 2015).

Яровая пшеница – одна из основных зерновых культур Среднего Поволжья. Её урожайность и качественные показатели продукции во многом зависят от плодородия почвы и применяемых удобрений. Сера, как элемент питания, важна для нормального течения обменных и продукционных процессов в растительных тканях растений пшеницы (Шеуджен А.Х. и др., 2014), и, в частности, при формировании белков клейковины (Нортон Р., Миккельсен Р., Дженсен Т., 2014).

Учитывая, что внесение больших доз удобрений связано с высокими материальными затратами, несомненный интерес представляет изучение эффективности применения серосодержащих удобрений в малых количествах при возделывании основных сельскохозяйственных культур, в том числе и для предпосевной обработки семенного материала.

Исследования являлись частью плана научной работы ФГБОУ ВО Ульяновского ГАУ (рег. № АААА–А16–116.041.110.183–9).

**Степень разработанности проблемы.** Вопросы применения серосодержащих удобрений при возделывания зерновых культур в разных почвенно-климатических условиях неоднократно рассматривались отечественными и иностранными исследователями (Archer M.V.I., 1974; Randall P.J., Spencer K., Freney J.R., 1981; Танделов Ю.П., Быстрова М.С., 2007; Самотоенко, А.С., 2011; Настина Ю.Р., Костин В.И., Настин А.А., 2016).

Однако в условиях черноземов лесостепной зоны Среднего Поволжья действие элементарной серы, сульфатов цинка, аммония и кальция в

небольших дозах на урожайность и качественные свойства зерна яровой пшеницы мало изучено. Поэтому представляется актуальным совершенствование системы удобрения яровой пшеницы в природных условиях Ульяновской области и обоснованное применение элементарной серы и серосодержащих соединений.

**Цель и задачи исследований.** Цель исследований – изучить обеспеченность подвижной серой почв сельскохозяйственных угодий Ульяновской области и оценить эффективность элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения в технологии возделывания яровой пшеницы.

Основные задачи при этом следующие:

- провести анализ содержания подвижной серы в почвах земель сельскохозяйственного назначения на территории Ульяновской области по данным сплошного мониторинга сельскохозяйственных угодий;

- изучить влияние элементарной серы, сульфатов цинка, аммония, кальция и минерального удобрения на агрохимические свойства чернозема выщелоченного; урожайность и качественные показатели основной продукции яровой пшеницы;

- дать экологическую оценку изучаемым агрохимическим приемам;

- рассчитать баланс питательных элементов в черноземе выщелоченном при использовании в технологии возделывания культуры серосодержащих удобрений;

- определить экономическую и биоэнергетическую эффективность технологий возделывания яровой пшеницы с использованием для предпосевной обработки семенного материала элементарной серы, сульфатов цинка, аммония, кальция в чистом виде и на фоне минерального удобрения.

**Научная новизна.** Применительно к условиям Среднего Поволжья проведено изучение сравнительной эффективности предпосевной обработки семян элементарной серой, сульфатами цинка, аммония и кальция в технологии возделывания яровой пшеницы. Установлено, что

серосодержащие соединения способствуют улучшению обеспеченности растений элементами питания. Использование их в чистом виде и в сочетании со средними дозами минерального удобрения (N40P40K40) положительно влияло на продуктивность и качественные показатели зерна яровой пшеницы. Рассчитан баланс азота, фосфора, калия и серы в черноземе выщелоченном при возделывании яровой пшеницы с использованием серосодержащих соединений и минерального удобрения. Проведена агрономическая, экологическая, экономическая и биоэнергетическая оценка технологий возделывания яровой пшеницы с применением в системе удобрения данных агрохимических средств.

#### **Практическая значимость и реализация результатов исследования.**

Результаты исследования позволяют рекомендовать сельскохозяйственным товаропроизводителям в условиях лесостепи Среднего Поволжья использовать в системе удобрения яровой пшеницы элементарную серу и серосодержащие соединения (сульфаты цинка, аммония, кальция) для предпосевной обработки семенного материала как в чистом виде, так и на фоне N40P40K40, что будет способствовать повышению урожайности яровой пшеницы от 6 до 23 % и получению экологически безопасной продукции.

Результаты исследования прошли испытания в производственных условиях на площади 279 га, внедрены в ООО «Агростар» Ульяновского района и ИП КФХ Сафаров М.Ф. Радищевского района Ульяновской области, применяются в учебном процессе ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ при изучении дисциплин: агрохимия, системы удобрения сельскохозяйственных культур.

#### **Защищаемые положения:**

– для всех видов сельскохозяйственных угодий Ульяновской области за период с 01.01.2005 г. по 01.01.2017 г. характерно увеличение доли почв с низким (менее 6 мг/кг) содержанием подвижной серы. Её концентрация

определяется интенсивностью земледелия и удалённостью территории от крупных промышленных центров;

– элементарная сера и серосодержащие соединения (сульфаты цинка, аммония, кальция) способствуют улучшению питательного режима чернозема выщелоченного. При этом в течение всего вегетационного периода растений содержание элементов питания в черноземе выщелоченном поддерживалось выше контрольного варианта: минерального азота на 2–10 %, подвижного фосфора на 5–13 %, обменного калия на 5–7 %, подвижной серы на 7–21 % соответственно;

– опудривание семян элементарной серой, сульфатами цинка, аммония, кальция обеспечивает повышение урожайности яровой пшеницы на 6–13 % с улучшением качественных показателей зерна. Более высокая продуктивность формируется при их совместном использовании с минеральным удобрением (увеличение на 16–23%);

– предпосевная обработка семян яровой пшеницы элементарной серой, сульфатами цинка, аммония, кальция экологически безопасна, эффективна с экономической и биоэнергетической точек зрения.

**Личный вклад соискателя** заключается в непосредственном участии в разработке программы исследования, постановке и проведении полевых и лабораторных экспериментов, обобщении и интерпретации полученного материала, подготовке результатов исследований к печати.

**Достоверность результатов исследований** подтверждается большим объемом экспериментального материала, современными методами исследований, соответствующими представленным в работе цели и задачам, обработкой информации и интерпретации полученных результатов в соответствии с требованиями статистического анализа, положительными результатами использования данных технологий возделывания яровой пшеницы в хозяйствах Ульяновской области.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на VI Международной научно-практической

конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения» (Ульяновск, 2015), II этапе Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Минсельхоза России по Приволжскому федеральному округу в номинации «Сельскохозяйственные науки» (Ижевск, 2015), конкурсе научно-технического творчества молодежи в рамках Молодежного инновационного форума (Ульяновск, 2015, 2016), Региональном конкурсе для молодых ученых «Science Slam» (Ульяновск, 2016), конкурсе научных работ студентов и аспирантов Международного института питания растений (2016). Автор прошла научную стажировку в ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» в рамках гранта РФФИ № 15-34-51240 мол\_нр (2015).

**Публикации.** По материалам исследования автором опубликовано 7 научных работ, в том числе 3 в изданиях, рекомендованных ВАК Российской Федерации.

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа изложена на 138 страницах текста, состоит из введения, 7 глав, заключения, предложений производству: содержит 29 таблиц, 16 приложений, иллюстрирована 8 рисунками. Список использованной литературы включает 207 источников, в том числе 20 зарубежных авторов.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую признательность и благодарность научному руководителю профессору Куликовой А.Х., доцентам Яшину Е.А., Карпову А.В., Захарову Н.Г., всему коллективу кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии ФГБОУ ВО Ульяновского ГАУ, а также агроному-агрохимику ФГБУ «Станция агрохимической службы «Ульяновская»» Смывалову Владимиру Сергеевичу за проявленную поддержку и оказанную помощь на различных этапах выполнения исследования и написания диссертационной работы.

## 1. Сера в системе «почва–растение» (обзор литературных сведений)

### 1.1. Сера в почве и растениях

Среди питательных элементов, которые требуются сельскохозяйственным культурам для нормальной жизнедеятельности, сера (S,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) занимает достойное место. Она принимает участие в важнейших физиологических процессах таких, как фотосинтез и дыхание, углеводный обмен, первичная ассимиляция азота, образование пигментов (хлорофилла и каротиноидов), синтез некоторых витаминов, ферментов, эфирных масел, ряда макроэргических компонентов, является неотъемлемой частью белковой молекулы (Панасин В.И., Слобожанинова В.Д., Лопатина Н.В., 1990).

Сера является весьма распространенным в природе химическим элементом. Кларк ее в почве составляет 0,1 %, в литосфере – 0,05 %. Биофильность серы равна 1. По этому показателю она близка к анионогенным элементам: кислороду (1,5), хлору (1,1), бору (0,83), фосфору (0,75) и бромю (0,71) (Шеуджен А.Х. и др., 2014).

В малом биологическом круговороте веществ биосферы превращения рассматриваемого элемента идут по двум главным путям: окисление и восстановление. В растениях преобладает ассимиляторная сульфидная редукция – главный путь метаболизма серы в растительной клетке, потому сульфат, как главный источник минерального питания серой, занимает ведущее положение (Слюсарев В.Н., 2007). В молодых органах растений, где идут преимущественно синтетические процессы, сера находится главным образом в восстановленной форме. По мере старения в растениях при преобладании процессов гидролиза увеличивается количество окисленных соединений элемента (Вильдфлуш И.Р. и др., 2001)

При выращивании лекарственных растений сера влияет на скорость образования биологически активных веществ, в случае злаковых –

на содержание в зерне протеина и свойства вырабатываемой из него муки. Минеральные соединения элемента служат резервом серы в растениях, также как антагонисты одновалентных ионов принимают участие в поддержании тургесцентного состояния плазмы клеток (Вильдфлуш И.Р. и др., 2001). В среднем сельскохозяйственные растения содержат около 0,05–1,8 % серы в пересчете на сухое вещество, из которых 90 % приходится на белковые соединения. За критический уровень содержания серы в тканях и зерне злаковых (пшеница и ячмень) чаще принимают величину 0,12 % S, в листьях разных сортов риса – 0,10 %, рапса – 0,17 % и клевера – 0,19 %.

О степени обеспеченности растений серой можно судить и по такому диагностическому показателю как отношение общего азота к общей сере (N:S), если оно равно 15 и более, следовательно, растения не обеспечены серой (Freney T.R., Spencer K., Iones M.B., 1978; Spencer K., Freney J.R., 1980; Randall P.J., Spencer K., Freney J.R., 1981; Аристархов А., 2016). В таком случае могут накапливаться в тканях небелковые соединения, в частности, аминокислоты (например, аргинин), которые в условиях оптимального минерального питания не образуются в растениях или же находятся в очень малой концентрации (Mengel K., 1972). К небелковому азоту кроме нитратов относят и пептиды, пиримидиновые и пуриновые основания, нуклеотиды и др. (Рядчиков В.Г., 1978). Однако при проведении растительной диагностики такой показатель как соотношение N:S в растениях может вводить в заблуждение. Например, необходимое соотношение азота к сере получено при низком содержании в растительных тканях обоих элементов питания. Кроме того, избыток серы может быть неправильно истолкован, как недостаток азота и наоборот (Р. Нортон Р., Миккельсен Т., Дженсен Т., 2014).

В работе Плешкова Б.П. (1965) показано, что в белке зерна пшеницы, овса, фасоли, люпина и конопли на 1 часть содержащейся в нем серы приходилось 13–39 частей азота. Для зерна ячменя величина соотношения азота к сере варьировало от 11,6 до 18,2. Содержание серы в зерне этой культуры изменялось в пределах 0,07–0,26 %, в соломе – 0,15–0,48 %

(Аристархов А.Н., 2007). Оптимальная концентрация сульфатной серы в соломе ячменя составляет 0,19 % (Церлинг В.В., 1990).

Исследования Новосёлова С.И. и коллег (2016) показали, что в зависимости от типа севооборота и уровня применения минеральных удобрений содержание серы в зерне и соломе озимой ржи составило 0,09 – 0,11 % и 0,05–0,07 %, основной и побочной продукции ячменя – 0,13–0,15 % и 0,12–0,16 % соответственно, клубнях картофеля – 0,14–0,16 %, сухой массе викоовсяной смеси – 0,30 %.

Растения усваивают серу в виде сульфат-ионов, поглощение которых начинается в зоне корневых волосков, и низкомолекулярных неспецифических органических соединений. Содержание последних в корнеобитаемом горизонте, как правило, достаточно низкое, и поэтому обеспеченность почв серой оценивают по концентрации сульфатной её формы (Аристархов А.Н., 2007; Панасин В.И., Новикова С.И., 2016). Поступление анионов в клетки осуществляется белками–переносчиками. Затем они перемещаются с транспирационным током, после чего участвуют в биологических процессах или аккумулируются в вакуолях растительных клеток. Серные органические вещества (сульфгидрильные соединения аминокислот, белки, тиоэфиры) транспортируются к верхушкам корней, стеблей, плодов и зерновок (местам активного синтеза белка). В дальнейшем они становятся малоподвижными.

Однако необходимо отметить, при высоком накоплении сульфатов может происходить дополнительное подкисление почвы и образование токсических количеств железного купороса, приводящее к гибели ряда мхов, лишайников, полезных микроорганизмов и водорослей, что может отрицательно сказаться на экологической обстановке (Фокин А.Д. и др., 1982; Ягодин Б.А., 1985).

Сульфат-ионы с нитрат- и фосфат-ионами имеют разные химические свойства и поэтому они не конкурируют между собой при поглощении корневой системой из почвы (Нортон Р., Миккельсен Р., Дженсен Т., 2014).

Однако при высоком содержании сульфатов в почве, например, на засоленных почвах, может наблюдаться вредное влияние этих соединений на развитие растений. В еще большей степени угнетает ростовые процессы другая форма серы – сероводород, образующийся, в частности, при возделывании риса в условиях орошения (Церлинг В.В., Ерофеев А.А., 1973). Большая часть поглощенной корнями сульфатной серы восстанавливается и включается в состав цистеина хлоропластов, являющегося первичным соединением для образования других органических серосодержащих соединений (Нортон Р., Миккельсен Р., Дженсен Т., 2014).

На уровень накопления элемента в почвах сельскохозяйственных угодий оказывают влияние их генезис, интенсивность и способы обработки, состав и содержание органических веществ, гранулометрический состав, водно-воздушный режим, кислотно-основные свойства и т.д. (Панасин В.И., Новикова С.И., 2016). Как и азот, сера является обязательной составляющей белков. В условиях недостатка элемента сокращается пул ферродоксинов, белков-переносчиков электронов процесса восстановления нитратов в растительных тканях, что влечет за собой снижение скорости восстановления и ассимиляции азота, – следовательно, способствует аккумуляции нитратов (Маслова И., 2016).

Вынос серы сельскохозяйственными растениями из почвы не намного меньше, чем фосфора, а некоторые культуры потребляют элемент даже в большем объеме. Отношение серы к фосфору больше единицы наблюдалось у люцерны, лука, капусты, рапса, подсолнечника, ячменя и пшеницы. В соответствии с данными Института серы в Вашингтоне, вынос серы прямо пропорционален росту урожайности культуры, а у кукурузы, люцерны и клевера даже опережает её (Слущкая Л.Д., 1972; Вильдфлуш И.Р. и др., 2001). Согласно исследованиям Г.Я. Елькиной (2010), размер выноса серы растениями определялся видом культуры, размером ее продуктивности и уровнем применения удобрений. При оптимизированном питании

картофеля макро- и микроэлементами отмечалось максимальное поглощение серы и достижение положительного баланса элемента.

Уровень потребления серы отличается в зависимости от биологических особенностей культур, концентрации ее соединений в почве, атмосферном воздухе, поливной воде, количестве оседающих твердых частиц; характера окислительных процессов элемента при распаде белков в растительных тканях. Поглощение серы в виде двуокиси из атмосферы достигает трети от общего объема потребления элемента и более, при этом величина непосредственной адсорбции может в 5–6 раз превышать количество серы, поступающее в почву с осадками (Слуцкая Л.Д., 1972; Фомина О.Г., Фомин П.И., 1977; Аристархов А.Н., 2000; 2007); но обычно в объеме, не более 1 кг S/га/год.

Сернистый ангидрид является основным соединением серы в воздухе. Постоянно поступает в нижние слои атмосферы при выплавке металлов из серусодержащих руд и сжигании богатых серой видов топлива, а также во время извержения вулканов. Ряд авторов рассматривали количественную сторону принципиальной возможности усвоения растениями  $SO_2$  из воздуха (Медведев Ж.А., Федоров Е.А., 1956; Olsen R., 1957; Jensen J., 1963; Bromfield A., 1972; Фомина О.Г., Фомин П.И., 1977). В работе Challenger F. (1959) описан предполагаемый механизм ассимиляции растениями сернистого ангидрида из воздуха. В начале газ проникает через устьица и кутикулу в межклеточники листьев, затем связывается целлюлозными оболочками клеток, богатыми водой, и окисляется до сульфат – иона. Далее  $SO_4^{2-}$  включается в органический синтез и проходит последовательно этапы восстановления до сульфгидрильной группы цистеина. Атмосферный диоксид серы является питательным веществом для всех растений (Фомина О.Г., Фомин П.И., 1977).

О.Г. Фомина и Фомин П.И. (1977) установили, что способность растений использовать атмосферную серу находилась в прямой зависимости от уровня их корневого питания сульфатами. Она увеличивалась

с возрастанием содержания подвижной серы в питательном растворе, достигая максимума в условиях оптимального питания сульфатами. При этом горчица усвоила из воздуха 64 % серы от общего ее содержания в растениях, горох – 57 %, подсолнечник – 39 %, картофель – 30 %. Листья растений способны выделять сероводород, что, вероятно, является следствием процесса детоксикации при критическом содержании  $\text{SO}_2$  (Нортон Р., Миккельсен Р., Дженсен Т., 2014).

В течение вегетационного периода потребность в сере у некоторых сельскохозяйственных культур меняется: например, у рапса наибольшее усвоение элемента приходится на фазу цветения и семяобразование, в свою очередь кукуруза поглощает серу с фактически постоянной скоростью. Растения пшеницы могут терять до 50 % аккумулятивной серы между фазами цветения и созревания (Нортон Р., Миккельсен Р., Дженсен Т., 2014).

Наиболее интенсивно усваивают серные соединения культуры из семейства крестоцветные и лилейные, например, капуста потребляет до 45–75 кг/га. Почти вдвое меньше требуется сахарной свекле и бобовым – 20–30 кг/га, зерновые поглощают только 10–15 кг/га (Аристархов А.Н., 2016).

Если растения не получают серу в необходимом количестве, то возможно замедление ростовых процессов, уменьшение интенсивности накопления сухого вещества, снижение устойчивости к весенним заморозкам (Танделов Ю.П., Быстрова М.С., 2007). В жизнедеятельности бобовых культур сера важна для стимуляции деятельности клубеньковых бактерий, тем самым формируются лучшие условия для активной симбиотической фиксации атмосферного азота (Лавриненко Т.Т., 1968; Кардиналовская Р.И., 1984). Люпин, клевер, горох и вика отличаются повышенным усвоением соединений серы (Никитишен В.И., Дмитрикова Л.К., 1983).

В плазме клубеньковых бактерий обнаружено серы значительно больше, чем в вегетативных органах. Кроме того, указанные микроорганизмы способны обогащать серой почву между мелкими корнями бобовых культур (Бобрицкая М.А., 1955).

При обеспеченности растений серными соединениями в продукции бобовых культур наблюдается большее накопление макро- (N, P, Ca) и микроэлементов (B, Cu, Zn), ценных аминокислот, повышается всхожесть семян, увеличивается активность полифенолоксидазы и пероксидазы (Кореньков Д.А., 1985; Слюсарев В.Н., 2007).

Напротив, в условиях дефицита доступной серы возможно вытеснение бобовых растений из травостоя злаковыми культурами и приостановление деятельности клубеньковых бактерий на их корнях (Фомина О.Г., 1981).

В агрономической практике актуальна проблема антагонизма серы и молибдена при их поглощении растениями, поскольку анионы элементов имеют близкий ионный радиус и одинаковый заряд (Фомин П.И., Фомина О.Г., 1976). Аналогичная картина наблюдается между сульфат- и селенионами ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ). Голов В.И. (2012) предложил во избежание данного явления в процессах питания бобовых культур проводить естественное накопление молибдена семенами, а серные удобрения вносить в почву.

Сера входит в состав незаменимых аминокислот (метионина, цистеина и цистина, входящих в состав клейковинных белков пшеницы (Кретович В.Л., 1991), трипептида (глутатиона); является непременным компонентом горчичного и чесночного масел, глюкозидов растений семейств крестоцветные, каперовые, резедовые, настурциевые; обнаружена в биотине, тиамине, некоторых антибиотиках.

Серосодержащие соединения – составная часть многих биологически активных соединений. Исключительную роль выполняют сульфгидрильные ( $-\text{SH}$ ) и дисульфидные ( $-\text{S}-\text{S}-$ ) группы, участвующие в образовании структур белков, которые входят в активные центры ряда ферментов. Они вовлечены в процессы активации АТФазных систем, что воздействует на синтез белка и обмен фосфора. Состояние сульфгидрильных и дисульфидных групп оказывает влияние на структуру и свойства различных белков. В полипептидных цепях  $-\text{SH}$  группы играют важную роль в деятельности активных центров ферментов, а  $-\text{S}-\text{S}-$  связи участвуют в формировании

пространственной структуры белков (Лукин С.В., Меленцова С.В., Авраменко П.М., 2006). Так, третичная структура белка фиксирована –S–S– связями. Ввиду способности к окислительно-восстановительным превращениям эти группы могут участвовать в переносе протонов и электронов (Торчинский Ю.М., 1961; Бреслер С.Е., 1963; Лисовал А.П., Жмурко Н.Г., 1975).

Исследования Лисовал А.П. и Жмурко Н.Г. (1975) с озимой пшеницей показали, что в большей степени органические и минеральные удобрения повышают содержание заэкранированных сульфгидрильных групп легкорастворимой фракции белков, чем открытых. В свою очередь концентрация дисульфидных групп изменяется мало. При использовании минеральных и органических удобрений наблюдается уменьшение содержания сульфгидрильных групп труднорастворимых белков, увеличивается соотношение –S–S– групп к –SH, что подтверждает улучшение качественных показателей основной продукции.

В растительном организме серные соединения претерпевают различные превращения и в меньшем количестве накапливаются в листьях и семенах, а максимально сосредотачиваются в корнях и стеблях, иногда даже в избытке, не причиняя какого-либо вреда. Серосодержащие ароматические вещества повышают устойчивость растений к повреждениям и стрессам, вызванным неблагоприятными факторами (Нортон Р., Миккельсен Р., Дженсен Т., 2014).

В растениях сера практически не используется повторно. При недостатке элемента в минеральном питании сельскохозяйственных культур наблюдается снижение интенсивности фотосинтеза на 40 % и синтеза белков (основы всех жизненных процессов растений), что уменьшает питательную ценность выращиваемой продукции; снижает скорость нарастания сухой массы, замедляет темпы наступления фаз онтогенеза.

Стебли испытывающих серное голодание растений истончаются и уменьшаются в длине. Дефицит серы проявляется на самых молодых

листьях, которые становятся желтого, желто-коричневого или коричневого цвета, при этом возможно развитие некротических пятен, на некоторых растениях появляется антоциановая пигментация, при этом листья нижних ярусов могут быть тверже и толще (Ягодин Б.А., 1985; Аристархов А.Н., 2000; Вильдфлуш И.Р. и др., 2001; Аристархов А.Н. 2007).

Ю.П. Танделов и М.С. Быстрова (2007) установили, что одним из признаков серного голодания у растений рапса и яровой пшеницы являлась хлоротичная окраска верхней части молодых листьев, начиная с фазы кущения, а в фазу выхода в трубку листья приобретали желтую окраску. Особенно ярко изменения вегетативных органов наблюдались при выращивании культур на почве с легким гранулометрическим составом. На вариантах с внесением элементарной серы, серосодержащих соединений (элементарная сера, сернокислый калий, магний) при визуальном осмотре растения, напротив, выглядели крупнее, имели характерный для культуры ярко-зеленый цвет.

Валовое содержание серы в почвах варьирует от 0,01 до 2,05 %. Дерново-подзолистые почвы содержат 0,01–0,1 % сероземы – 0,05–0,07 %, черноземы – 0,2–0,5 %, каштановые почвы – 0,1–0,3 %, солонцы – 0,1–2,1 % (Шеуджен А.Х. и др., 2014).

В природе встречается порядка 40 минералов группы сульфидов и почти столько же сульфатов (Бетехтин А.Г., 1956). Общий запас серы в почвах определяется почвообразующими породами, в свою очередь накопление, миграция, создание соединений, свойственных почвам, происходит в процессе почвообразования. Преобладающие на русской платформе различные суглинки содержат от 85 до 115 мг/кг серы (Айдинян Р.Х., 1964). Минеральная форма серы представлена пиритом, ангидритом, гипсом, сфалеритом, самородной серой, полиотионатами, сульфатами щелочных и щелочноземельных металлов. Органические соединения элемента, в которых сера с углеродом удерживается ковалентными связями, приходится на гумусо-аккумулятивные горизонты почв. Элемент входит

в состав всех групп гумусовых веществ, в частности, гуминовые и фульвокислоты черноземов содержат до 57 % биофила (Айдинян Р.Х., 1964; Слюсарев В.Н., 2007).

Большая часть почвенной серы (70–90 %) представлена органическими соединениями. Они подвергаются микробному окислению (с участием бесцветных серобактерий) в начале до сульфидов, а затем до легкорастворимых и адсорбированных сульфатов (Томпсон Л.М., Трой Ф.Р., 1982; Маслова И.Я., 1993). Распределение валовых запасов элемента по профилю почв различных типов имеет свои особенности и зависит от содержания гумусовых веществ и распространения фракций механических элементов. В составе гумуса S и N входят в пропорции 8–12:1 (Слуцкая Л.Д., 1972). Общее соотношение C:N:S в почве составляет 100:8:1, т.е. на каждые 77 кг образующегося органического вещества приблизительно приходится 3,6 кг N и 0,45 кг S.

Р.Х. Айдиняном (1964) установлено, что при движении от подзолистой зоны почв к лесостепной и степной содержание серы в гуминовых кислотах возрастает, а в фульвокислотах – уменьшается. Восстановленные соединения минеральной серы (сероводород, сульфиды и самородная сера) на земной поверхности легко окисляются до серной кислоты или сульфатов. Сульфидная сера становится доступной растениям после преобразования в  $\text{SO}_4^{2-}$  (Возбуцкая А.Е., 1964; Слюсарев В.Н., 2007; Воронков Д.И., 2008; Гомонова Н.Ф., 2008; Ворд Р., 2009).

Концентрация подвижных соединений серы в почве зависит от величины обменных катионов и природы глинистых минералов, содержания окислов алюминия и железа, гранулометрического состава. Она подвержена изменениям по сезонам: наиболее высокая концентрация доступной серы наблюдается летом в период активного протекания процессов минерализации, минимальная – весной и осенью, когда процессы сульфатации замедляются. Каолинитовые глины лучше удерживают  $\text{SO}_4^-$ , чем монтмориллонитовые (Пейве Я.В., 1961; Петербургский А.В., 1971;

Bergseth H., 1978; Вильдфлуш И.Р. и др., 2001; Слюсарев В.Н., 2006; Нортон Р., Миккельсен Р., Дженсен Т., 2014; Слюсарев В.Н., 2014; Таврыкина О.М. и др., 2014).

Сульфат-ионы могут адсорбироваться на оксидах алюминия и железа с выделением иона  $\text{OH}^-$ , который впоследствии вступает в реакцию нейтрализации с водородным ионом. Благодаря этим процессам в почве возможно накопление сульфат-ионов, однако при этом не происходит снижение кислотности почвенного раствора (Сырчина Н.В., Соловьева Н.А., Кожевникова А.С., 2017). Специфическая адсорбция сульфат-ионов свойственна некоторым типам почв, особенно имеющим высокое содержание свободных оксидов и гидроксидов железа и алюминия. Ослабление неспецифической адсорбции сульфат-ионов почвой наблюдается при внесении фосфорных удобрений и известковании (Миккельсен Р., Нортон Р., 2014).

При нейтрализации реакции почвенных растворов наблюдается тенденция к увеличению содержания подвижной серы. Данное обстоятельство связано с возрастанием активности гетеротрофных микроорганизмов, минерализующих гумус. В ходе этого процесса сера включается в состав микробной массы и частично переходит в почву в сульфатной форме (В.И. Панасин, В.Д. Слобожанинова, 1990).

На интенсивность минерализации серы влияют также влажность и температура почвы. В опытах на черноземах выщелоченных оптимальной оказалась влажность, составившая 60 % полной влагоёмкости, скорость процесса увеличивалась с возрастанием температуры и внесением аммонийных и калийных солей (Слуцкая Л.Д., 1972).

При повышенном количестве осадков сульфатная сера, как и нитратный азот, в достаточно большом количестве (до 25 кг S/га) подвержен вымыванию из пахотного слоя с токами воды за пределы корнеобитаемого слоя. Сульфат-ион способен мигрировать вплоть до грунтовых вод и накапливаться в почве при засушливых условиях

(Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Прокопенко В.В., 2005; Сискевич Ю.И., 2007; Ворд Р., 2009; Нортон Р., Миккельсен Р., Дженсен Т., 2014).

В сравнении с целинным аналогом в пахотных почвах ежегодно снижается содержание подвижной серы за счет выноса с урожаем (Оганесова О.А. и др., 2013). Дефицит серы чаще всего наблюдается на почвах, бедных органическим веществом, примером служат супесчаные и песчаные почвы нечерноземной полосы (Schnudq E., Haneklaus S., 2005).

В настоящее время происходит переход химической промышленности на выпуск концентрированных удобрений, не содержащих серных соединений, с ростом урожайности увеличивается вынос питательных элементов (в том числе и серы), возможно уменьшение поступления серы из атмосферы вследствие установления более совершенных очистных конструкций и изменения топливного баланса в стране (Церлинг В.В., Ерофеев А.А., 1973; Макаренко Л.М., 1987; Kaczor A Adam., Kozłowska J., 2000; Schnug E., Haneklaus S., 2005; Messick D.L., Fan M.X., de Brey C., 2005; Маслова И.Я., 2008; Елькина Г.Я., 2010; Воропаев В.Н. и др., 2014; Нортон Р., Миккельсен Р., Дженсен Т., 2014).

Некоторое количество элемента культурные растения получают за счет «балластной» части обычных удобрений, применяемых для насыщения растений основными элементами минерального питания – азотом, фосфором и калием (Слуцкая Л.Д., 1972). В сульфате аммония содержится 23–24 % S, сульфате магния – 18,6 %, сульфате калия – 17-18 %, сульфате натрия – 22,6 %, каините – 13 %, калимагнезии – 15 %, гипсе – 18–20 %, сланцевой золе – 1,6–2,9 %, цементной пыли – 1 %, навозе – 0,02–0,06 %, торфе – 0,1–0,3 %. Снижается поступление серы и с органическими удобрениями. Однако сера в таких веществах прочно связана с азотом и углеродом, темпы среднегодовой ее минерализации не превышают 2 % (Вильдфлуш И.Р. и др., 2001).

Сера в минеральном питании сельскохозяйственных культур по значимости располагается после азота, фосфора и калия. Велика ее роль

для нормального протекания обменных и продукционных процессов в растительных тканях (Шеуджен А.Х. и др., 2014). Актуальным становится вопрос обеспеченности сельскохозяйственных культур серосодержащими соединениями на территориях, где может проявиться серная недостаточность. Практически для всех регионов нашей страны характерно ухудшение плодородия почв по содержанию серы. В соответствии с результатами, систематически подводимого крупномасштабного сплошного мониторинга, 57,8 % площадей пахотных почв Российской Федерации требуют применения серосодержащих удобрений под все культуры (обеспечены серой в низкой степени). К тому же 32,3 % нуждаются во внесении данных агрохимических средств под наиболее требовательные культуры (обеспечены серой в средней степени) (Аристархов А., 2016).

## **1.2. Эффективность серосодержащих удобрений**

Серные удобрения оказывают двойное действие на рост и развитие растений: прямое и косвенное. Косвенное действие обусловлено изменением доступности элементов питания в почве, а прямое – связано с непосредственным участием серы в метаболизме растений (Слюсарев В.Н., 2005, 2007; Фурсова А. Ю., 2015). Обычно серосодержащие удобрения применяют осенью под зяблевую вспашку или рано весной под предпосевную культивацию, на пастбищах – поверхностно вразброс. Отмечается хорошее действие небольших доз серных удобрений при внесении в рядки (BennetsR., 1965; PumphreyF., MooreD., 1965; AndersonO., FutralJ., 1966; DrakeF., CurnowB., 1967; Крупский Н.К., Гончаренко В.Е., 1967; Сырый Н.М., 1970). При остром недостатке серы рекомендуется проведение некорневой подкормки растений 0,5–2 %-ным раствором сульфатов (Кэмпфер М., Цеглер Е., 1969).

Для всех элементов питания растений используется концепция «4-х правил» применения удобрений (оптимизация форм, доз, сроков и способов их внесения). Рассмотрим ее принципы по отношению к сере.

*Формы.* Данный питательный элемент можно вносить в разных формах, включая органические удобрения (например, навоз) (Нортон Р., Миккельсен Р., Дженсен Т., 2014). Содержание серы в компостах и навозе зависит от типов кормов, вида сельскохозяйственных животных, способов их содержания. Концентрация элемента в компостах и навозе изменяется от 0,3 до 1,0 % в расчете на абсолютно сухое вещество (Миккельсен Р., Нортон Р., 2014). Серные удобрения представлены водорастворимыми сульфатными формами и соединениями серы, которые в дальнейшем преобразуются в сульфаты. Поэтому важно учитывать время, необходимое для превращения нерастворимой формы элемента в сульфатную форму. Для составления ЖКУ, тукосмесей и прямого внесения имеется целый ряд хороших жидких и твердых агрохимических средств, содержащих различные соединения серы. Комбинирование элементарной серы и водорастворимых сульфатных форм имеет определенное преимущество, поскольку обеспечивает пролонгированное и быстрое действие серосодержащих удобрений. В данном случае основным фактором выступает размер частиц элементарной серы, ввиду того, что крупные по размеру частицы медленнее окисляются до сульфатов.

*Сроки.* Сульфатные формы серосодержащих удобрения целесообразно использовать в период максимального потребления серы растениями. Элементарную серу рекомендуется вносить в почву заблаговременно. Для питания большинства сельскохозяйственных культур требуется постоянное поступление сульфатов в течение всего вегетационного периода (Нортон Р., Миккельсен Р., Дженсен Т., 2014). При недостатке серы допускается проведение внекорневой подкормки 0,5–2 % раствором сульфата и внесение серосодержащих удобрений в рядки при посеве (Сискевич Ю.И., 2007).

*Способы.* При применении сульфатных форм удобрений важно не допускать высокой концентрации сульфат-ионов в непосредственной близости от проростков. Иначе возможно появление осмотического стресса у корневой системы растений. На затопляемых почвах элементарную серу рекомендуется оставлять на поверхности почвы. На границе раздела почва – вода в тонком аэробном слое сера окисляется до сульфат-ионов.

*Дозы.* Дозы внесения серосодержащих удобрений определяются исходя из потребности сельскохозяйственных культур в элементе, климатических условий (температурный режим, количество осадков) и физико-химических свойств почвы (гранулометрический состав, содержание гумуса). Система применения серосодержащих удобрений обычно строится с учетом принятого в хозяйстве севооборота.

Пример использования Концепции «4-х правил»: внесение сульфата аммония (формы) проводится в рядки вместе с семенами (способы) при посеве мелкосемянных культур (сроки). Однако количество удобрения (дозы) скорректировано с учетом снижения риска аммиачного отравления растений, ввиду широкорядного способа посева, засушливых условий и легкого гранулометрического состава почв. Применение вышеуказанной концепции использования серосодержащих удобрений позволяет оптимизировать питание растений серой (Нортон Р., Миккельсен Р., Дженсен Т., 2014).

В работах V. Kilmer и D. Nearpass (1960), X. Чепмен (1964) показано, что положительное действие серных удобрений на продуктивность многих культур проявлялось при содержании серы в почве 3–12 мг/кг, при более высоком уровне отзывчивость растений на их применение в условиях полевых и вегетационных опытов резко падала. В опытах отечественных и канадских ученых установлено благоприятное влияние серы на синтез в растениях хлорофилла и активность окислительных ферментов. У основных зерновых культур отмечено ускорение созревания, увеличение продуктивной кустистости, улучшение структуры урожая. Имеются сведения о повышении стекловидности зерна пшеницы и содержания всех

аминокислот в основной продукции ячменя под действием серных соединений (Слюсарев В.Н., 2007; Самотоенко А.С., 2011; Фурсова А. Ю., 2015).

Серосодержащие удобрения вносят с целью обеспечения растений питательным элементом, проведения мелиорации солонцов, улучшения физических свойств почвы, снижения уровня рН почвенного раствора, повышения доступности растениям фосфора, железа и марганца (Слуцкая Л.Д, 1972). Сера играет важную роль в плодородии почвы. Как отмечалось ранее, в почвенном слое она встречается в сульфатной и сульфидной форме. Исследования Айдиняна Р.Х. (1964) показали, что сульфидная сера (марказит и пирит) встречается только в глубоких горизонтах, куда затруднен доступ кислорода. В свою очередь сульфаты широко представлены в почвенном слое. Наиболее часто встречаются соединения щелочных и щелочноземельных металлов. По мнению Айдиняна Р.Х. (1964), сульфаты образуются в результате взаимодействия минеральной части почвы с продуктами разложения органических остатков (Вальников И.У., 1970).

Результаты исследований Никитишен В.И. и Личко В.И. (2010) показали, что при выращивании ячменя на серой лесной почве в условиях высокой обеспеченности азотом растения испытывали сильную потребность в сере. Внесение сульфата аммония способствовало повышению степени усвоения растениями основным макроэлементами и серы, что обеспечило увеличение урожайности зерна на 0,82 т/га, соломы – 0,11 т/га. Применение серосодержащих удобрений часто приводит к превращению труднодоступных для растений соединений фосфора и калия в усваиваемую форму (Гибадуллина Х.В. и др. 2009). Согласно проведенным в Германии исследованиям недостаток серы может приводить к ежегодным потерям до 10 % от общего объема потребляемых в стране азотных удобрений (Нортон Р., Миккельсен Р., Дженсен Т., 2014). Внесение гипса или фосфогипса в дозе 2–3 ц/га (S – 40–60 кг/га) на черноземах Среднего Поволжья, Украины и Молдавии способствовало увеличению

продуктивности гороха на 2,0–2,5, ячменя – 1,5–2,5, озимой пшеницы – 2,5–4,0, овса – 2,4–4,0 ц/га (Аристархов А.Н, 2000). При достаточном серном питании масличность подсолнечника может возрасти на 4–5 %, урожайность – 1–2 ц/га; содержание сырой клейковины в зерне на 2–3,5 %, продуктивность озимых зерновых культур – 5–8 ц/га (<http://www.apsr.ru/>).

В соответствии с результатами исследований З.М. Шугля (1967), кормовая капуста хорошо отзывается на внесение элементарной серы в количестве 60 кг/га совместно с полным минеральным удобрением в умеренных дозах (N60P90K90). Прибавка урожайности за счет серы достигала 46–56 ц/га по лучшим вариантам. Использование рапса в качестве предшественника может повышать доступность серы для последующих в севообороте культур. При этом в половине случаев при средней обеспеченности соединениями элемента в почве применение серных удобрений приводило к увеличению масличности семян культуры (Peller D., 2003).

Применение серосодержащих препаратов на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья со средней обеспеченностью подвижными соединениями серы (6–12 мг/кг) совместно с внесением основных минеральных удобрений способствовало повышению показателей структуры урожая сои, её продуктивности, сбора протеина с 1 га. В опыте также увеличивались урожайность и масличность семян рапса (Тишков Н.М., Дряхлов А.А., Слюсарев В.Н., 2014). Исследования Анисимова А.А., Коньковой Е.А. и Фузиной Е.К. (1964) показали, что применение сульфата аммония при возделывании картофеля увеличивала интенсивность оттока ассимилянтов с 1 ед. поверхности листьев нижних и средних листьев. Эти вещества в большей мере участвовали в образовании и росте новых листьев и побегов, чем в формировании товарной продукции.

Щегольковым А.В. (2015) установлено положительное действие серного удобрения на высоту растений сои, количество бобов и семян с 1 м<sup>2</sup>.

Установлено, что наиболее эффективная доза некорневой подкормки сульфатом калия составила 250 г/га. Ее применение обеспечило прибавку продуктивности бобовой культуры на уровне 0,13 т/га, повышение сбора белка и масла на 52,9 и 21,1 кг/га соответственно. Исследования Елькиной Г.Я. (2010) показали, что при оптимизированном питании растений макро – и микроэлементами, в том числе и серой, повышается продуктивность и питательность биомассы кормовых культур. Ученые из Казанского ГАУ после проведения испытаний на серой лесной почве пришли к выводу, что систематическое внесение серосодержащих удобрений (гипс, элементарная сера) в дозах 30–120 кг д.в./га обеспечивает повышение продуктивности полевого севооборота на 11–15 % (Гайсин, И.А. и др., 2009).

В соответствии с результатами экспериментов, организованных в 2001 г. в штате Вирджиния (США) в полевых условиях, при проведении поздних подкормок азотными соединениями на фоне внесения серы накопление белка в зерне озимой пшеницы сорта Соиссонс повышалось в среднем на 0,2 % по сравнению с вариантами, где азот использовался без серы (Томасон В.Е., Гриффей С.А., Филлипс С.Б., 2014).

Никитишен В.И., Личко В.И., Остроумов В.Е. ( 2013) установили, что внесенная совместно с NPK сера (в виде сульфата аммония) при сочетании с замачиванием семенного материала в 0,005 %-ном растворе сульфата цинка положительно влияет на усвоение растениями кукурузы макро-микроэлементов. В результате чего увеличивается надземная масса культуры. Как показали исследования Агафонова Е.В. и Агафоновой Л.Н. (1986), использование сульфата цинка (15–20 кг/га) под предшествующую культуру на мицеллярно-карбонатном черноземе обеспечило повышение урожайности яровой пшеницы на 1,8–2,1 ц/га. Внесение серосодержащих удобрений приводит не только к увеличению урожайности яровой пшеницы, но зачастую приводит к повышению степени превращения труднодоступных растениям соединений фосфора и калия в усвояемую форму (Гибадуллина Х.В. и др. 2009).

Исследования Кравченко В.Н. и Тукабаева А.И. (2011) в условиях Оренбургской области, свидетельствуют о положительном влиянии азота и серы в чистом виде и при совместном использовании на основные показатели структуры урожая проса. Показано, что на основе учета продуктивности культуры и экономической оценки лучшим является допосевное применение серы в дозе 30 кг/га. Левшаковым А.В. и Чевычеловым А.В. (2016) в условиях Курской области в результате испытания комплексного минерального удобрения марки NPKS-10-20-20-6 доказано, что эффективность данного агрохимического средства при возделывании яровой пшеницы на темно-серой лесной почве с низким уровнем обеспеченности серой (2,8 мг/кг) выше, чем комплексного минерального удобрения без серы.

Завалиным А.А. и коллегами (2009) испытано удобрение ASN 32-0-0-5 в технологии возделывания яровой пшеницы на дерново-подзолистой почве Центрального Нечерноземья. В ходе исследований установлено, что удобрение превосходит аммиачную селитру по сбору зерна и соломы. При этом сниженная доза ASN не уступает по эффективности полной дозе  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

В исследовании на серой лесной почве Республики Татарстан установлено преимущество использования удобрения NS 30:7 по сравнению с аммиачной селитрой. Внесение NS 30:7 в дозе 50 кг N/га (12 S/га) на фоне P9,5K40 обеспечило получение максимальной урожайности яровой пшеницы в опыте (2,56 т/га) и улучшило качество зерна (Полтораднев М.С., Гребенникова Т.В., Хисамутдинов Н.Ш., 2014).

Отечественными и зарубежными исследователями накоплен большой научный опыт по изучению роли серы в минеральном питании яровой пшеницы. Получены многочисленные достоверные данные в различных почвенно-климатических условиях (иногда и в одной зоне) по эффективности серосодержащих удобрений в зависимости от сроков, способов и норм их применения, влиянии на содержание в почве соединений основных макроэлементов, их поглощении растениями, реализации потенциала

продуктивности сортов и гибридов сельскохозяйственных культур. Однако проблема достаточного обеспечения растений доступной серой при низком ее содержании в черноземе выщелоченном лесостепной зоны по-прежнему актуальна, что вызывает необходимость уточнений влияния серосодержащих удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы с учетом их воздействия на свойства почвы.

Краткий обзор литературных данных по изучению эффективности применения серосодержащих удобрений позволяет сделать следующие выводы:

- использование серосодержащих удобрений как отдельно, так и на фоне минеральных удобрений оказывает положительное действие на поглощение основных макроэлементов, урожайность и качество продукции сельскохозяйственных культур;

- применение серосодержащих удобрений является перспективным направлением в земледелии вследствие дефицита в почве доступной серы и положительного влияния её на растения;

- существует необходимость уточнения по влиянию серосодержащих удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы с учетом конкретных почвенно–климатических условий и воздействия их на свойства почвы;

- внесение больших доз удобрений связано с высокими материальными затратами, что обуславливает необходимость изучения возможности применения малых доз серосодержащих удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур, в том числе в условиях Среднего Поволжья. Для этих целей перспективно изучение эффективности элементарной серы, сульфата аммония, цинка и кальция как в чистом виде, так и на фоне полного минерального удобрения для предпосевной обработки посевного материала сельскохозяйственных культур.

## **2. Условия и методика проведения исследований**

### **2.1. Почвенно-климатическая характеристика опытного поля**

При разработке систем удобрения важно учитывать особенности почвы, в условиях которой проведены испытания. Именно почва обеспечивает потребности растений в питательных веществах и воде в течение всего вегетационного периода, предопределяя их продуктивность. Одним из аспектов изучения эффективности внедряемых агротехнических мероприятий является учет особенностей погодных условий территории проведения исследований (Сандакова Г.Н., Елисеев В.И., 2017).

Наряду с пространственной неоднородностью агроклиматического потенциала территории и совершенствованием агротехнологий изменение погодных условий является одним из главных факторов колебания продуктивности зерновых культур (Переведенцев Ю.П., Шарипова Р.Б., Важнова Н.А., 2012).

#### **2.1.1 Агроклиматические условия**

Для территории Среднего Поволжья характерен континентальный климат. В лесостепной зоне летом устанавливается умеренный температурный режим. В июле температура держится на уровне 21 °С. Средняя сумма активных температур на территории Ульяновской области составляет 2457 °С, атмосферных осадков – 487 мм (Переведенце Ю.П., Шарипова Р.Б., 2012; Карпович К.И., Шарипова Р.Б., Сабитов М.М., 2016).

В соответствии с почвенно-климатическими и экономическими особенностями территория региона делится на четыре микрзоны: Южная, Заволжская, Центральная и Западная. Осредненная многолетняя средняя годовая температура воздуха повсеместно положительная и возрастает от 4,1 °С (в Западной микрзоне) до 4,9 °С (в Южной). Весной средняя

температура по области равна – 5,1 °С, летом – 18,2 °С, в осенний период – 4,7 °С, зимой опускается до – 10,0 °С. В среднем по области нулевая средняя суточная температура устанавливается 30 октября. Положительные средние суточные температуры наступают с 26 по 28 марта, переход через +5 °С устанавливается 13–14 апреля, температура +10 °С и выше начинается 26–29 апреля (Переведенцев Ю.П., Шарипова Р.Б., 2012). Осадки осенне-зимнего периода обычно способствуют глубокому весеннему увлажнению почвы. Их количество за вегетационный период большей частью нестабильно. В одни годы их не хватает, в другие – достаточно. Часто наблюдаются засухи (Головоченко А.П., 2001).

В Ульяновской области наблюдается устойчивая тенденция повышения многолетних среднемесячных температур воздуха. Сформировались предпосылки для расширения спектра возделываемых теплолюбивых культур на территории региона. Повышение температуры в сентябре и ноябре способствует увеличению продолжительности вегетационного периода и отодвигает установление снежного покрова в более поздние сроки. Однако в мае неоднократно фиксируется некоторое похолодание, которое может ограничивать длительность вегетационного периода и в отдельные годы наносить повреждения садам, овощным посевам и даже полевым культурам.

За последние 50 лет достаточно устойчиво повысилась сумма осадков на территории области, что повлекло за собой изменение региональной интенсивности процесса подкисления почв (Шарипова Р.Б., 2012). Как показали исследования Ю.П. Переведенцева, Р.Б. Шариповой и Н.А. Важнова (2012) за период с 1961 по 2010 гг., одним из факторов снижения урожайности зерновых культур в регионе являлась высокая температура начала вегетационного периода, которая сопровождалась дефицитом осадков.

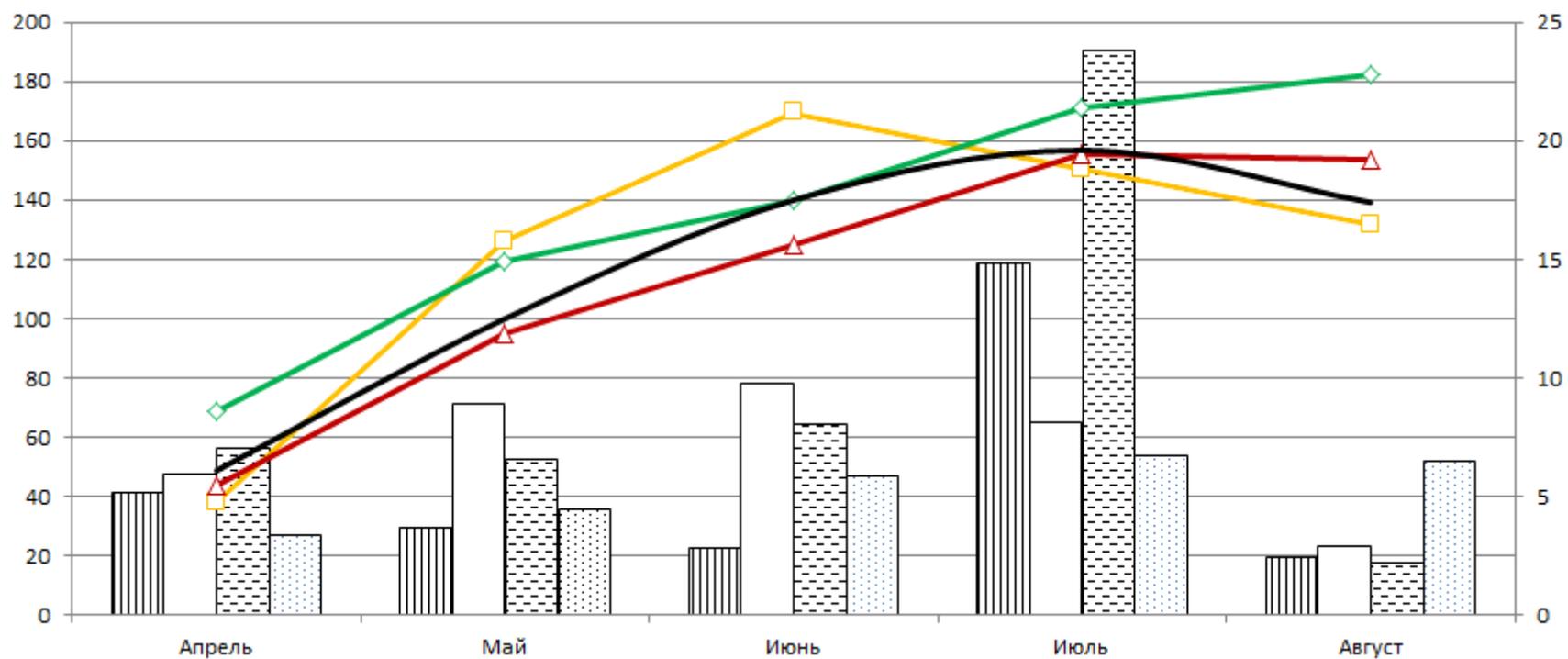
За годы проведения полевых исследований агроклиматические условия складывались неодинаково. Оценка гидрометеорологической обстановки

проведена на основе наблюдений метеостанции международного аэропорта «Ульяновск–Восточный», расположенной вблизи от территории опытного поля (рисунок 1). В период с 2015 по 2017 гг. среднегодовое количество осадков составило 597 мм (приложение 1, 2, 3). За вегетационный период яровой пшеницы в 2015 г. выпало 173,3 мм при норме 144,5 мм (120 %), в 2016 г. – 213,9 мм (149 %), в 2017 г. – 304,7 мм (211 %).

В 2015 г. наблюдались относительно неблагоприятные для растений яровой пшеницы метеорологические условия. Количество выпавших осадков за апрель превысило среднемноголетнее значение на 53 %. Среднемесячная температура воздуха 4,8 °С ниже нормы месяца на 1,3 °С. В мае и июне наблюдались засушливые погодные условия. Дефицит атмосферных осадков большей частью возмещался запасами почвенной продуктивной влаги осеннее – зимнего и, частично, весеннего периода. В июне зафиксировано повышение среднемесячной температуры воздуха до 33,2 °С при 22,8 мм осадков (49 % от среднемноголетних). Июль характеризовался холодными влажными погодными условиями: фактическая температура воздуха ниже на 0,8 °С среднемноголетних значений, атмосферных осадков выпало 118,6 мм при норме 54 мм. Из них 78,3 мм (66 %) зафиксированы в первой декаде месяца.

В 2016 г. наблюдали смещение интенсивно засушливой погоды на август. Рост и развитие растений проходили в благоприятных метеорологических условиях. В апреле при среднесуточной температуре 8,6 °С выше обычной на 2,5 °С выпало 47,5 мм осадков (176, % от среднемноголетних). Средние декадные температуры воздуха в мае составили в среднем 14,9 °С, что теплее среднемноголетнего значения на 2,4 °С. Осадки, выпавшие во второй (35,8 мм) и третьей (23,3 мм) декадах месяца, способствовали появлению дружных всходов яровой пшеницы.

Осадки, мм



Среднесуточная температура, °С

Рисунок 1 – Ход метеорологических элементов за вегетационный период 2015–2017 гг.



В июне среднесуточная температура атмосферного воздуха не превысила норму (17,5 °С). Сумма выпавших осадков составила 77,8 мм или 253 % от среднегодовалого значения. Их большая часть отмечена в первой декаде – 59,6 мм, что почти в четыре раза выше нормы (15,0 мм).

В первой декаде июня резкое колебание температуры ночью (3,6 °С) и повышение днем (21,3 °С) при интенсивном выпадении осадков негативно влияло на протекание метаболических процессов в растительных тканях. Сложившиеся условия способствовали распространению бурой листовой ржавчины, стеблевой ржавчины, бактериозов. Активное развитие возбудителей данных болезней отрицательно повлияло на потенциальную продуктивность сельскохозяйственных культур. За июль выпало 65,0 мм (120 % от нормы 54 мм). Среднесуточная температура месяца составила 21,4 °С, превысив среднегодовое значение на 1,8 °С. Во второй и третьей декаде отмечена жаркая погода с повышением температуры воздуха до 32,8 °С и 32,1 °С соответственно.

2017 год характеризовался сложными погодными условиями на протяжении всего вегетационного периода. В апреле наблюдалась неустойчивая погода с резкими колебаниями температуры воздуха и обилием осадков. В наиболее холодные ночи первой декады месяца температура воздуха понижалась до – 14,5 °С, достигая максимума +25,2 °С в конце месяца. При этом средняя температура воздуха за месяц (5,5 °С) превысила норму на 0,6 °С. Наиболее интенсивными осадки были преимущественно в третьей декаде. За месяц их сумма составила 56,1 мм (208 % от нормы 27,0 мм). В последней пятидневке месяца установились оптимальные агрометеорологические условия для проведения посева яровых культур (<http://www.ulniish.ru/>).

Для мая была характерна неустойчивая погода с резкими колебаниями температуры воздуха и обилием атмосферных осадков. Минимальная температура воздуха понижалась до 0,5 °С (12 мая), максимальная –

достигала +25,0 °С (25 мая). Наиболее интенсивными осадки были преимущественно в третьей декаде мая (31,1 мм). Сумма осадков за месяц составила 52,4 мм (146 % от нормы 36 мм). Пониженный температурный режим сдерживал вегетативное развитие сельскохозяйственных культур (<http://www.ulniish.ru/>). В июне установился пониженный температурный режим и обилие атмосферных осадков. Средняя температура атмосферного воздуха за месяц составила 15,6 °С, что ниже нормы на 1,9 °С. В отдельные дни воздух прогревался до 22-25 °С. Сумма осадков за месяц – 64,5 мм (137 % от нормы 47 мм). Максимум осадков зафиксирован 21 июня – 12,0 мм. На протяжении месяца преобладал пониженный температурный режим при обильном выпадении осадков. Сложившиеся погодные условия сдерживали фенологическое развитие посевов и проведение полевых работ, создали предпосылки для распространения сельскохозяйственных болезней (<http://www.ulniish.ru/>).

В июле также наблюдался пониженный температурный режим и обилие осадков. Средняя температура атмосферного воздуха в первой декаде 16,9 °С, что ниже нормы на 2,5 °С. Со второй декады воздух прогревался до 34,6 °С. Среднемесячная температура была близкой к среднемноголетнему значению и составила 19,4 °С. Сумма осадков за месяц – 190,2 мм, что в 3,5 раза выше нормы (54 мм). Из них большая часть, 167,1 мм, пришлось на первую декаду месяца (<http://www.ulniish.ru/>).

В августе установилась очень теплая погода с небольшими дождями разной интенсивности. Среднемесячная температура оказалась выше нормы на 1,8 °С и составила 19,2 °С. Осадков выпало 17,4 мм (33 % от среднемноголетнего значения). Длительная сухая погода августа на фоне повышенных температур атмосферного воздуха благоприятно повлияла на созревание зерновых культур, своевременное проведение уборочных и заготовительных работ (<http://www.ulniish.ru/>).

Таким образом, агроклиматические условия за период исследований различались по годам. Это позволило в полной мере оценить влияния изучаемых факторов на урожайность и качество продукции яровой пшеницы.

### **2.1.2 Особенности почвенного покрова**

Почвенный покров Ульяновской области представлен богатым разнообразием почв. В его структуре преобладают лесные и степные почвы, однако присутствуют и особые типы почв: карбонатные, пойменные, болотные, солонцы и солоды, которые кардинально отличаются по условиям почвообразования. Наибольшие размеры площадей занимают черноземные, серые лесные и дерново-карбонатные типы почв. На долю первых приходится 64,2 % или 1 млн. 336,9 тыс. га, среди которых больший удельный вес занимают черноземы выщелоченные и типичные. Одной из важнейших и сложнейших в производственной деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей растениеводческой отрасли агропромышленного комплекса остается задача повышения и поддержания почвенного плодородия черноземов (Карпов А.В., 2017; Сабитов М.М., Захаров А.И., 2017).

По результатам комплексного агрохимического обследования с 01.01.2012 по 01.01.2016 года средневзвешенное содержание цинка и меди в почвах пашни Ульяновской области не изменилось и составило: 1,0 мг/кг (среднее) и 3,2 мг/кг (среднее) соответственно. Средневзвешенное содержание марганца увеличилось с 13,7 до 15,3 мг/кг (Черкасов Е.А. и др., 2012; Черкасов Е.А., Лобачев Д.А., Саматов Б.К., 2016).

На начало 2016 года пахотные почвы региона характеризовались средним содержанием гумуса (средневзвешенный показатель 4,84 %), повышенной обеспеченностью фосфором (125,1 мг/кг), высокой – калием (136,6 мг/кг), близкой к нейтральной степени кислотности ( $pH_{KCl} 5,57$ ).

Почвы с очень низкой и низкой обеспеченностью гумусом составили 35 % от обследованной площади пашни, со средней и повышенной – 61 %, с высокой и очень высокой – только 4 %. Низкая и очень низкая обеспеченность подвижным фосфором характерна для 8,9 % почв от обследованной площади пашни, средняя и повышенная – 55,4 %, высокая и очень высокая – 35,7 %. Относительно стабильно содержание подвижного калия в пахотных почвах региона. Только 1,2 % обеспечены этим элементом в очень низкой и низкой степени, в средней и повышенной – 34,9 % и высокой и очень высокой – 63,9 %. Более 47 % от обследованной площади характеризовались избыточной кислотностью (Черкасов Е.А., Лобачев Д.А., Саматов Б.К., 2016; Черкасов Е.А., Куликова А.Х., Лобачев Д.А., 2017).

Содержание подвижной (сульфатной) серы в пахотных почвах региона на 01.01.2017 составило 4,68 мг/кг, что свидетельствует об их низкой обеспеченности данным элементом (Чекмарев П.А., Черкасов Е.А., 2017).

Опытное поле Ульяновского ГАУ находится на территории муниципального образования «Чердаклинский район», входящей в состав Приволжского агропочвенного района надпойменной террасы р. Волга. Почвообразующие породы в основном представлены разнообразными суглинистыми осадками, а почвенный покров – долинными среднemocными и mocными перерытыми суглинистыми черноземами (Карпов А.В., Аюгова Н.К., 2010; Чекмарев П.А., Черкасов Е.А., 2017). Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднemocный среднесуглинистый. Его профиль имеет следующие морфологические признаки:

Горизонт $A_p$	Зернистопылевато–комковатый, густо пронизан
0 – 25 см	корнями растений, среднесуглинистый, переход
	постепенный.

Горизонт $A_1$	Темного с сероватым оттенком цвета, зернисто-
----------------	---

25 – 38 см	комковатый, среднесуглинистый, присутствуют полуразложившиеся остатки растений, заметны ходы червей, переход постепенный.
Горизонт АВ 38 – 55 см	Серовато-коричневатый, комковато-ореховидный, среднесуглинистый, уплотнен, нижний переход заметен слабо.
Горизонт В <sub>1</sub> 55 – 84 см	Светлокори́чневато-бу́рый, комковатый или призмовидно комковатый, среднесуглинистый, плотнее, чем горизонт АВ, с ясным глянцем на структурных отдельностях, переход слабыми языками, более заметен.
Горизонт В <sub>2</sub> 84 – 143 см	Желтовато-коричневый, бесструктурный, легкосуглинистый, рыхлый, гумусовые языки и потеки до 115 см, бурное вскипание от соляной кислоты наблюдается с глубины 84 см.
Горизонт С 143 см и более	Желтый, бесструктурный, легкосуглинистый, рыхлый, слабые псевдомицелии карбонатов.

Пахотный слой почвы опытного участка согласно грациям по обеспеченности почв макроэлементами характеризуется высоким содержанием калия 141 мг/кг и повышенным – фосфора 140 мг/кг (по Чирикову). В низкой степени обеспечен гумусовыми веществами (4,4 %) и подвижными соединениями серы (6,0 мг/кг). По реакции среды относится к слабокислым (рН<sub>КС1</sub>) 5,2–5,4 ед. Содержание цинка среднее – 0,9 мг/кг. В целом агрохимические свойства чернозема выщелоченного учебно-опытного хозяйства Ульяновского ГАУ способствуют реализации генетического потенциала районированных сортов зерновых культур, однако в отдельные годы возможно снижение урожайности и качества зерна ввиду наступления неблагоприятных агрометеорологических явлений.

## 2.2. Схема полевого опыта и её обоснование

Исследования по изучению эффективности применения в технологии возделывания яровой пшеницы серосодержащих удобрений в чистом виде и совместно с минеральным удобрением проводились на опытном поле кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии ФГБОУ ВО Ульяновского ГАУ в период с 2015 по 2017 гг.

Посевы яровой пшеницы сорта Маргарита размещались по схеме из 10 вариантов:

$A_1B_1$  – без удобрений (контроль);

$A_2B_1$  – элементарная сера;

$A_3B_1$  –  $ZnSO_4$ ;

$A_4B_1$  –  $(NH_4)_2SO_4$ ;

$A_5B_1$  –  $CaSO_4$ ;

$A_1B_2$  –  $N_{40}P_{40}K_{40}$  (фон, NPK);

$A_2B_2$  – NPK + S (элементарная сера);

$A_3B_2$  – NPK +  $ZnSO_4$ ;

$A_4B_2$  – NPK +  $(NH_4)_2SO_4$ ;

$A_5B_2$  – NPK +  $CaSO_4$ .

Фактор А – вид серосодержащего удобрения:  $A_1$  – без удобрений,  $A_2$  – элементарная сера,  $A_3$  – сульфат цинка,  $A_4$  – сульфат аммония,  $A_5$  – сульфат кальция;

Фактор В – минеральное удобрение.

Ежегодно мелкоделяночные полевые опыты закладывались в 4-кратной повторности вариантов. Посевная площадь делянки, рассчитанная на комбайновую уборку урожая, составляла 40 м<sup>2</sup> (4x10), учетная – 18 м<sup>2</sup> (1,8x10). Делянки располагали рендомизировано. Настоящее исследование проводили в рамках научной работы ФГБОУ ВО Ульяновского ГАУ (рег. № АААА–А16–116.041.110.183–9).

### 2.3. Технология возделывания яровой пшеницы

Технология возделывания яровой пшеницы состояла из следующих операций. Обработка почвы опытного участка проводили ежегодно в оптимальные сроки (с 25.08 по 15.09). Лушение стерни осуществляли вслед за уборкой озимой пшеницы агрегатом Т-150 + БДТ-7 (10–12 см). Вспашку проводили плугом ПЛН-5–35 (20–22 см). В весенний период при наступлении физической спелости почвы закрытие влаги проводили тяжелыми зубовыми боронами БЗТС-1. В качестве минерального удобрения применяли нитроаммофоску (17:17:17) в дозе 40 кг д.в./га по основным элементам (Адаптивно-ландшафтная система..., 2013). Внесение её проводили вручную под предпосевную культивацию (КПС-4 на глубину 10–12 см) в соответствии со схемой полевого опыта. Предшественник – озимая пшеница по чистому пару, которая является лучшим предшественником для яровой мягкой пшеницы и способствует наивысшей отдаче генетически заложенных сортовых качеств (Захаров В.Г. и др., 2016).

Посев яровой пшеницы проводили элитными семенами вслед за культивацией в оптимальные агротехнические сроки рядовым способом сеялкой ССНП-16. Использовали семена сорта Маргарита. Он характеризуется как среднеспелый, продолжительность вегетационного периода составляет от 80 до 94 дней. Достоинства сорта: оптимальная сбалансированность высокой продуктивности и качества зерна с устойчивостью к полеганию, болезням, повышенной отзывчивостью на применение минеральных удобрений. Масса 1000 зёрен – до 45,0 г, натура зерна от 779 до 800 г/л, стекловидность 60–80 %. Растения высоко устойчивы к полеганию, пыльной и твёрдой головне, к бурой ржавчине. Хлебопекарные качества сорта удовлетворительные и хорошие. Формирует клейковину на уровне 28–29 % при соблюдении технологий возделывания, при этом её

содержание незначительно изменяется по годам. Белок накапливается до 15,2 %. Средняя хлебопекарная оценка – 4,5 балла (Захаров В.Г. и др., 2016).

Норма высева составила 4,5 млн. шт. всхожих семян на 1 га. Обработка посевного материала соединениями, содержащими цинк и серу, является одним из рекомендуемых мероприятий по обеспечению сохранности озимых и яровых сельскохозяйственных культур (Черкасов Е.А., Лобачев Д.А., Саматов Б.К., 2016). Для удовлетворения потребности растений в сере использовали элементарную серу, сульфаты аммония, кальция и цинка. Серосодержащие удобрения применяли в дозе 1,5 кг/т посевного материала (для удерживания удобрений на поверхности семян применяли прилипатель – NaКМц) (<http://agrohimija24.ru>).

*Элементарная сера* – нерастворимое в воде соединение, которое усваивается растениями после окисления почвенными микроорганизмами. На скорость окислительных реакций влияют, главным образом, тонина помола элементарной серы и почвенно-климатических условия. В процессе принимают участие различные почвенные микроорганизмы, в том числе и тионовые бактерий из рода *Thiobacillus (Acidithiobacillus)*. На скорость окисления частиц элементарной серы влияют влажность и температура среды, рН почвенного раствора и воздушный режим почвы (Р. Миккельсен, Р. Нортон, 2014). Массовая доля серы составляет 97 %.

*Синтетический сульфат аммония* – представляет собой химически нейтральную кристаллическую соль белого цвета, хорошо растворимую в воде. Массовая доля серы составляет 28 %. Источник азота и серы. Ионы аммония и сульфатной серы доступны растениям с развитой корневой системой и легко усваиваются всеми сельскохозяйственными культурами (Сухова О.В. и др. 2017).

*Сульфат цинка* является цинковым, серосодержащим удобрением, растворимым в воде. При внесении в почву соединение диссоциирует на

$Zn^{2+}$  и  $SO_4^{2-}$ . Массовая доля серы составляет 19,9 %. При этом катион цинка может легко поглощаться корневой системой растений или адсорбироваться глинами и органическим веществом почв. Сера в данной форме легко усваивается корнями растений. Цинк входит в состав большинства металлоферментов, участвует в образовании металлоферментных комплексов, относится к первому классу токсичности ([http://www.pesticidy.ru/active\\_compound/zincsulfate](http://www.pesticidy.ru/active_compound/zincsulfate)). Известно (Волков А.В., 2015), что в условиях недостатка цинка у растений наблюдаются морфологические изменения и нарушения тканевого химизма, закрытие устьиц, увеличение содержания воды в клетках растений, накопление небелковых растворимых соединений азота, изменение активности тканевых окислительных ферментов, нарушение метаболизма углеводов, белков.

*Сульфат кальция (гипс)* – малорастворимое в воде соединение. Источник доступных растениям ионов кальция и сульфата. Высвобождение питательных элементов происходит постепенно. Массовая доля серы составляет 23,5 % (<http://agroland.net.ua/ru/sulfat-kaltsiya/>). Максимальное растворение сульфата кальция происходит при температуре воздуха свыше 10 °С (Слюсарев В.Н., 2007).

Прикатывание посевов осуществляли кольчато-шпоровыми катками ЗККШ-6А. Для защиты яровой пшеницы от комплекса вредителей применяли Каратэ Зеон, МКС – пиретроидный инсектицид широкого спектра действия. Он зарекомендовал себя как высокоэффективное средство против широкого спектра вредителей на всех жизненных стадиях. На посевах зерновых культур применяется для борьбы с листогрызущими и сосущими насекомыми. Для человека является умеренно-опасным веществом. После обработки растений препарат характеризуется высокой дождеустойчивостью и фотостабильностью, что обеспечивает более длительную защиту при неблагоприятных условиях. Опрыскивание посевов яровой пшеницы проводили в фазу выхода в трубку ручным опрыскивателем. Доза препарата

«Каратэ Зеон» составила 0,2 л при расходе рабочего раствора 200 л/га (Государственный каталог пестицидов..., 2018).

Уборку проводили прямым способом при достижении полной спелости зерна комбайном Terrion Sampo SR2010. Зерно приводили к 14%-ой влажности и 100%-ой физической чистоте.

#### 2.4. Методы наблюдений, учетов и анализов

Организация полевых микроделяночных опытов, сопутствующих наблюдений, отбор и проведение лабораторных исследований выполняли в соответствии с методическими требованиями: «Агрохимический анализ почв, растений, удобрений» (Дурынина Е.П., Егоров В.С., 1998), Методика полевого опыта» (Доспехов Б.А., 2011), «Методика и методология научных исследований: теория и практика» (Ивойлов А.В., 2013). Определяли:

Содержание в почве:

- гумуса – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91);
- общего азота – по Къельдалю – ГОСТ 26107-84;
- подвижных соединений фосфора и обменного калия – по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204-91);
- цинка в почве – атомно-абсорбционным методом;
- подвижной серы – по методу ЦИНАО (ГОСТ 26490-85);
- приготовление солевой вытяжки и определение ее рН осуществляли по методу ЦИНАО (рНКCl) – ГОСТ 26483-85;

В растительных образцах:

- азота – по Къельдалю (ГОСТ 13496-93);
- фосфора – фотометрическим методом (ГОСТ 26657-97);
- калия – методом пламенной фотометрии (ГОСТ 30504-97);
- белка по ГОСТ 10846-91;
- количество массовой доли сырой клейковины по ГОСТ Р 54478-2011;
- тяжелых металлов в зерне – методом атомно-адсорбционной

спектрофотометрии (ГОСТ 30692-2000);

– серы в продукции яровой пшеницы в соответствии с методическими указаниями по определению серы в растениях и кормах растительного происхождения (Москва, ЦИНАО, 1999).

Для проведения экономической оценки были рассчитаны следующие категории: стоимость продукции (произведение цены реализации за 1 т зерна на урожайность культуры); затраты на производство (сумма общих затрат по нормативным данным технологических карт); себестоимость (отношение производственных затрат к продуктивности); условный чистый доход (разница между стоимостью продукции и затратами на производство); рентабельность производства (отношение условного чистого дохода к затратам). В связи с колебанием цен на зерно пшеницы, стоимость основной продукции рассчитывали исходя из цены 8 тыс. руб. за 1 т, как средней по региону в годы проведения исследований.

Биоэнергетическую оценку технологий возделывания яровой пшеницы проводили в соответствии с методикой, разработанной Е.И. Базаровым и Е.В. Глинкой (1983). Рассчитывали показатели: совокупность энергозатрат, направленных на производство основной продукции; количество энергии, получаемой с урожаем товарной части культуры и коэффициент агроэнергетической эффективности.

Химические анализы проб растительных и почвенных образцов выполняли в испытательной лаборатории «Ульяновская ГСХА» (РОСС. RU.0001.513.748) и аккредитованной лаборатории ФГБУ «САС «Ульяновская» (№ RA.RU.510251). Полученные результаты исследования подвергали математической обработке по Б.А. Доспехову (2011) с использованием пакета программного обеспечения MS Excel 2007 и Statistica 6.1.

### **Глава 3. Содержание подвижных соединений серы в почвах Ульяновской области**

*Выражаем благодарность и признательность коллективу Федерального государственного бюджетного учреждения «Станция агрохимической службы «Ульяновская» и лично директору, к. с.-х. наук Черкасову Е.А. за предоставленную информацию.*

Учитывая важную роль серных соединений в формировании урожайности и качественных показателей растениеводческой продукции, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Станция агрохимической службы «Ульяновская» с 1994 года в составе комплексного мониторинга приступило к обследованию сельскохозяйственных угодий на содержание подвижной серы. Изучение проводится в соответствии с методикой, рекомендованной ГНУ ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова (ЦИНАО) (Державин Л.М. и др., 1983; ГОСТ 26490-85, Аристархов А., 2016).

Как показал мониторинг плодородия почв на территории Ульяновской области, в структуре обследованных земель сельскохозяйственного назначения на 1 января 2017 года преобладали почвы с низкой обеспеченностью подвижной серой (I группа).

За период с 01.01.2005 по 01.01.2017 гг. их доля увеличилась с 62,1 до 74,4 % (или 12 %) (рисунок 2, рисунок 3, приложение 4). На начало 2017 года площадь таких почв составила 1 млн. 295,3 тыс. га. Одновременно с 25,1 до 21,2 % (или 4 %) уменьшилась доля почв со средней обеспеченностью подвижной серой (II группа), с 12,8 до 4,4 % (или 8 %) – с высокой степенью (III группа).

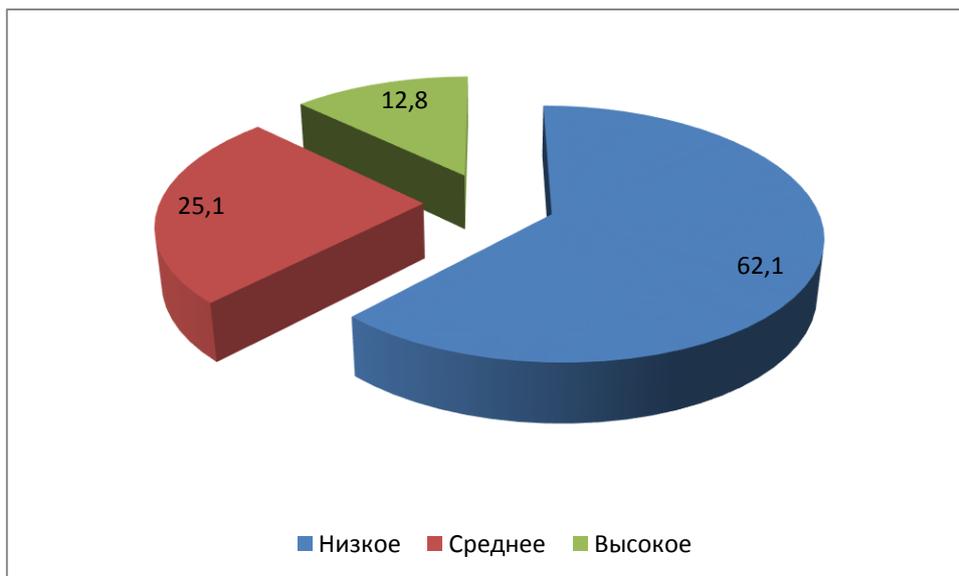


Рисунок 2 – Группировка почв по содержанию подвижной серы в землях сельскохозяйственного назначения на 01.01.2005 г.

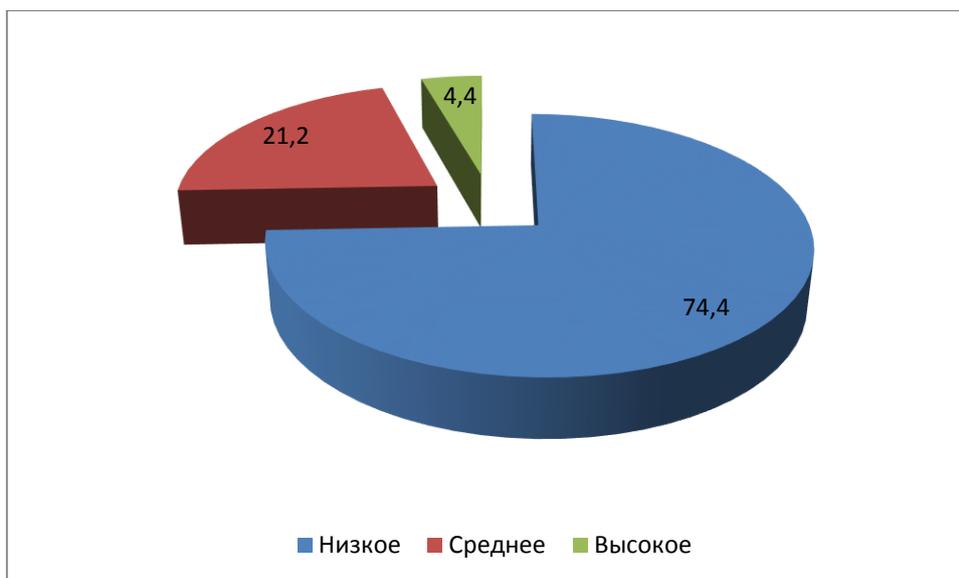


Рисунок 3 – Группировка почв по содержанию подвижной серы в землях сельскохозяйственного назначения на 01.01.2017 г.

Согласно сводной ведомости обследования в структуре площади пашни также преобладали почвы I-ой группы обеспеченности подвижной

серой. За период с 01.01.2005 по 01.01.2017 гг. доля таких почв увеличилась 62,5 до 74,2 % (или 12 %) (таблица 1).

Таблица 1 – Распределение почв пашни Ульяновской области по содержанию серы (2005–2017 гг.)

Наименование муниципальных образований	Группировка почв по содержанию серы						Средневзвешенное содержание, мг/кг
	I		II		III		
	Низкое		Среднее		Высокое		
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	
Вешкаймский	37,7	97,4	0,9	2,3	0,1	0,3	3,17
Барышский	36,7	95,8	1,4	3,7	0,2	0,5	3,27
Чердаклинский	100,5	95,6	3,9	3,7	0,7	0,7	3,29
Карсунский	48,1	94,3	2,3	4,5	0,6	1,2	3,38
Базарносызганский	22,9	93,5	1,4	5,7	0,2	0,8	3,42
Старомайнский	54,8	92,1	3,9	6,6	0,8	1,3	3,52
г. Ульяновск	12,8	90,8	1,1	7,8	0,2	1,4	3,60
Кузоватовский	71,4	90,4	6,7	8,5	0,9	1,1	3,62
Павловский	49,2	88,8	5,0	9,0	1,2	2,2	3,75
Инзенский	26,8	86,5	3,6	11,6	0,6	1,9	3,88
Майнский	93,2	86,7	10,8	10,0	3,5	3,3	3,91
Сенгилеевский	34,9	91,1	3,1	8,1	0,3	0,8	4,15
Сурский	55,6	82,4	8,3	12,3	3,6	5,3	4,23
Ульяновский	49,7	80,7	9,1	14,8	2,8	4,5	4,31
Новомалыклинский	33,7	78,9	7,4	17,3	1,6	3,7	4,39
Цильнинский	48,9	64,8	20,6	27,3	6	7,9	5,37
Старокулаткинский	36,1	63,2	18,1	31,7	2,9	5,1	5,38
Николаевский	48,5	56,9	33,5	39,3	3,3	3,9	5,73
Радищевский	46,1	56,4	32,4	39,6	3,3	4,0	5,76
Новоспасский	22,1	53,6	16	38,8	3,1	7,5	6,04
Теренгульский	35	41,1	48,8	57,3	1,4	1,6	6,62
Мелекесский	67,6	44,5	67,2	44,3	17	11,2	6,70
<b>Итого на 01.01.2017</b>	<b>1032,5</b>	<b>74,2</b>	<b>305,5</b>	<b>21,9</b>	<b>54,3</b>	<b>3,9</b>	<b>4,68</b>
<i>Итого на 01.01.2005</i>	<i>977,1</i>	<i>62,5</i>	<i>403,7</i>	<i>25,8</i>	<i>182,5</i>	<i>11,7</i>	<i>5,62</i>

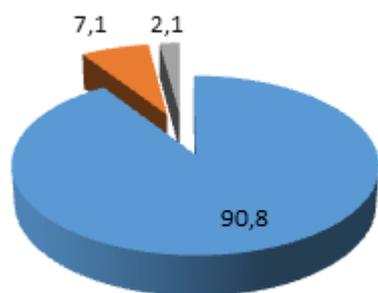
Их площадь на 1 января 2017 года составила 1 млн. 032,5 тыс. га. Одновременно уменьшилась с 25,8 до 21,9 % (или 4 %) доля почв II-ой группы, с 11,7 до 3,9 % (или 8 %) – III-ей группы (Чекмарев П.А., Черкасов Е.А., 2017).

Получение определенной урожайности сельскохозяйственных культур требует создание оптимального уровня и соотношения питательных элементов в почвенном слое.

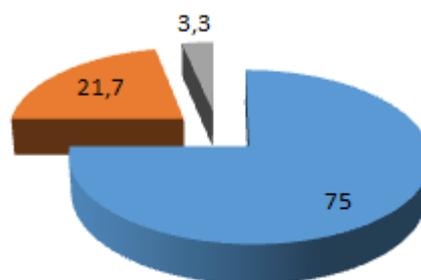
Средневзвешенное содержание серы в пахотных почвах на начало VIII цикла обследования (2005 год) составило 5,62 мг/кг, на 01.01.2017 – 4,68 мг/кг, что свидетельствовало об их недостаточной обеспеченности сульфатами. В целом за период с 2005 по 2017 гг. показатель снизился на 0,94 мг/кг, или 16,7 %. К основным причинам, объясняющим низкую обеспеченность пашни доступной серой, следует отнести низкий уровень применения удобрений, содержащих этот элемент.

Наиболее низкое средневзвешенное содержание подвижной серы наблюдали в пахотных почвах Западной микрзоны (рисунок 4а). Показатель составил 3,63 мг/кг. Для данной территории характерен самый высокий по региону коэффициент увлажнения. Местность богата грунтовыми водами (Васин, Д.В., 2013). Из 251,2 тыс. га обследованной площади 227,8 тыс. га или 90,8 % заняли почвы с низкой обеспеченностью элементом, что, возможно, обусловлено вымыванием подвижной серы из пахотного горизонта вместе с атмосферными осадками и грунтовыми водами. За 2014-2016 гг. на территории Западной микрзоны сульфат аммония внесен в количестве 40 тонн физического веса (далее – ф.в.)

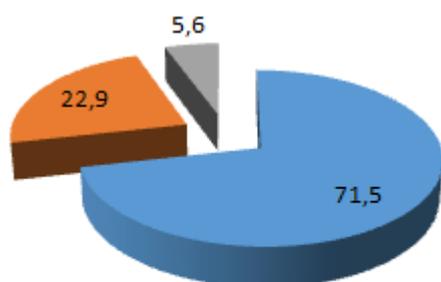
В почвах Центральной (рисунок 4б) и Заволжской (рисунок 4в) микрзон региона показатель равен 4,68 и 4,90 мг/кг соответственно. Из 449,0 и 359,1 тыс. га обследованной площади доля низко обеспеченных серой почв составила 345,9 и 256,6 тыс. га или 75,0 и 71,5 % соответственно. Центральная и Заволжская микрзоны подвергаются большой техногенной нагрузке разнопрофильных промышленных предприятий области, вследствие чего возможно поступление в почву дополнительных серных соединений с атмосферными осадками. За 2014-2016 гг. на территориях микрзон сульфат аммония внесен в количестве 341 и 6300 тонн ф.в. соответственно.



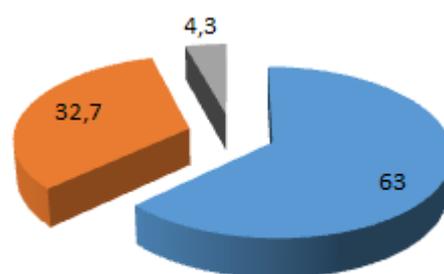
а) Западная микрizona



б) Центральная микрizona



в) Заволжская микрizona



г) Восточная микрizona

■ низкое ■ среднее ■ высокое

Рисунок 4 – Распределение пахотных почв микрizon по содержанию подвижной серы на 01.01.2017 г., % от обследованной площади

Средневзвешенное содержание подвижной серы в почвах Южной микрizonы (рисунок 4г) составило 5,37 мг/кг. Из 320,8 тыс. га обследованной площади на долю почв I группы пришлось 202,0 тыс. га или 63,0 %. На территории рассматриваемой микрizonы разработаны нефтяные месторождения, кроме того, по соседству расположены крупные промышленные и транспортные узлы соседних территорий

(Васин, Д.В., 2013). Почвы территории характеризуются преимущественно средней продуктивностью, подвержены водной эрозии. Они обладают относительно высокой степенью гумусированности (Васин, Д.В., 2013). При этом для почв Южной микрозоны кислотность почвенного раствора составила 5,66 ед, что выше аналогичного показателя других микрозон области. В таких условиях возможно возрастание содержания сульфатной серы вследствие минерализации гумусовых веществ (В.И. Панасин и др., 2016). За 2014-2016 гг. на территории микрозоны сульфат аммония внесен в количестве 85 тонн ф.в.

Таким образом, по состоянию на 1 января 2017 года средневзвешенное содержание серы в пахотных почвах Центральной микрозоны находилось на уровне областного показателя (4,68 мг/кг), Западной микрозоны – ниже на 1,05 мг/кг, в пахотных почвах Заволжской и Южной микрозон – выше на 0,22 и 0,69 мг/кг соответственно.

Наибольшую средневзвешенную концентрацию доступной серы наблюдали в пахотных почвах муниципальных образований «Новоспаский район» – 6,04 мг/кг, «Тереньгульский район» – 6,62 мг/кг и «Мелекесский район» – 6,70 мг/кг (II группа). По-видимому, это связано с применением минеральных и местных органических удобрений, особенностями погодных условий территорий данных районов. Для пашни остальных районов области характерно изменение показателя от 3,17 до 5,38 мг/кг, что позволило отнести почвы к I-ой группе.

Согласно сводной ведомости обследования среди залежных почв преобладали почвы с низкой обеспеченностью подвижной серой (таблица 2). Их площадь на 1 января 2017 года составила 49,2 тыс. га. За период с 01.01.2005 по 01.01.2017 наблюдали заметное увеличение доли таких почв в общей структуре обследованной площади залежных земель с 66,8 до 87,2 % (или на 20 %). Одновременно уменьшилась с 26,7 до 11,0 %

(16 %) доля средне обеспеченных почв, с 6,5 до 1,8 % (5 %) – высоко обеспеченных.

Таблица 2 – Содержание серы в почвах залежи Ульяновской области

Год	Обследованная площадь, тыс. га	Группировка почв по содержанию серы					
		I		II		III	
		низкое		среднее		высокое	
		тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
01.01.2005	24,7	16,5	66,8	6,6	26,7	1,6	6,5
01.01.2017	56,4	49,2	87,2	6,2	11,0	1,1	1,8
Градация почв по содержанию серы, мг/кг		<6,00		6,01–12,00		>12,01	

В соответствии с данными сводной ведомости обследования среди почв многолетних насаждений преобладали почвы I группы (таблица 3).

Таблица 3 – Содержание серы в почвах многолетних насаждений Ульяновской области

Год	Обследованная площадь, тыс. га	Группировка почв по содержанию серы					
		I		II		III	
		низкое		среднее		высокое	
		тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
01.01.2005	3,4	1,5	44,1	0,9	26,5	1,0	29,4
01.01.2017	3,3	2,8	84,8	0,5	15,2	0,0	0,0
Градация почв по содержанию серы, мг/кг		<6,00		6,01–12,00		>12,01	

Их площадь на 1 января 2017 года составила 2,8 тыс. га. За период с 01.01.2005 по 01.01.2017 практически вдвое увеличилась доля таких почв в общей структуре обследованной площади многолетних насаждений: с 44,1 до 84,8 % (или на 41 %). Одновременно уменьшилась с 26,5 до 15,2 % (11 %) доля почв II группы, на 29 % – III группы. По состоянию

на 1 января 2017 г. в структуре обследованных почв многолетних насаждений отсутствуют почвы с содержанием серы более 12,0 мг/кг.

Согласно сводной ведомости обследования среди почв сенокосов преобладали почвы с низкой обеспеченностью подвижной серой (таблица 4).

Таблица 4 – Содержание серы в почвах сенокосов Ульяновской области

Год	Обследованная площадь, тыс. га	Группировка почв по содержанию серы					
		I		II		III	
		низкое		среднее		высокое	
		тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
01.01.2005	31,2	13,7	43,9	7,3	23,4	10,2	32,7
01.01.2017	20,9	14,1	67,5	3,1	14,8	3,7	17,7
Градация почв по содержанию серы, мг/кг		<6,00		6,01–12,00		>12,01	

Их площадь на 1 января 2017 года составила 14,1 тыс. га. За период с 01.01.2005 по 01.01.2017 доля таких почв в общей структуре обследованной площади сенокосов увеличилась с 43,9 до 67,5 % (или на 24 %). Одновременно уменьшилась с 23,4 до 14,8 % (9 %) доля почв со средней обеспеченностью элементом, и с 32,7 до 17,7 % (15 %) – с высокой.

В соответствии с данными сводной ведомости обследования из почв пастбищ преобладают почвы I группы (таблица 5).

Таблица 5 – Содержание серы в почвах пастбищ Ульяновской области

Год	Обследованная площадь, тыс. га	Группировка почв по содержанию серы					
		I		II		III	
		низкое		среднее		высокое	
		тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
01.01.2005	318,3	197	61,9	68,7	21,6	52,6	16,5
01.01.2017	267,7	196,7	73,5	53,0	19,8	18,0	6,7
Градация почв по содержанию серы, мг/кг		<6,00		6,01–12,00		>12,01	

Их площадь на 1 января 2017 года составила 196,7 тыс. га. За период с 01.01.2005 по 01.01.2017 доля таких почв в общей структуре обследованной площади пастбищ увеличилась с 61,9 до 73,5 % (или на 12 %). Одновременно уменьшилась с 21,6 до 19,8 % (2 %) или доля почв II группы, с 16,5 до 6,7 % (10 %) – III группы.

По оперативным данным Федерального государственного бюджетного учреждения «Станция агрохимической службы «Ульяновская» из серосодержащих удобрений за период 2014–2016 гг. на территории Ульяновской области применялся сульфат аммония, являющийся азотно-серным удобрением и содержащий 21 % азота и 24 % серы (рисунок 5).

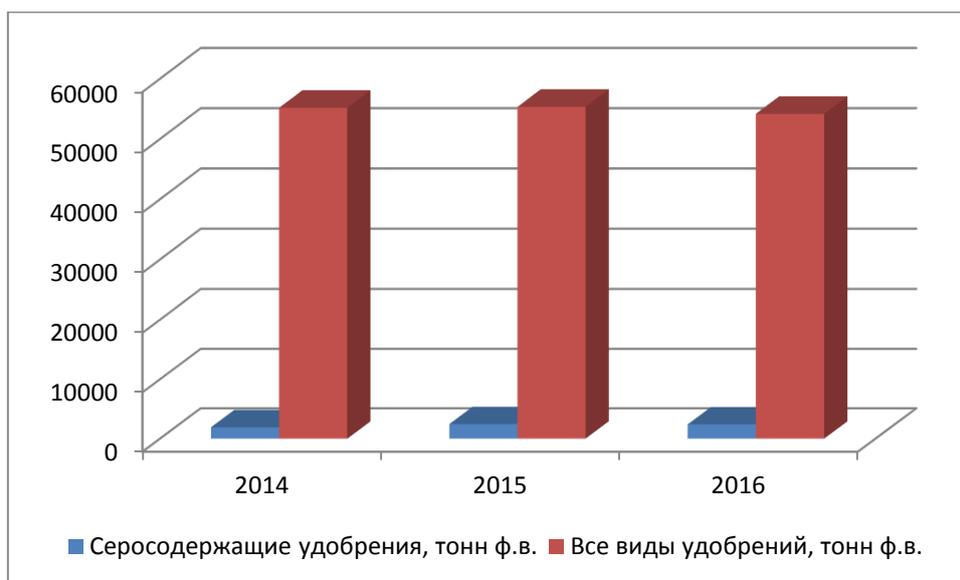


Рисунок 5 – Динамика поступления сульфата аммония на территории Ульяновской области за 2014-2016 гг.

Сульфат аммония применяется для всех типов сельскохозяйственных культур, после растворения хорошо усваивается растениями. Подкисление почвы, наблюдаемое при его применении, происходит, в основном, за счет окисления аммонийной формы азота до нитратной (Лапа В.В., Босак В.Н., 2006; Миккельсен Р., Нортон Р., 2014). Для обеспечения

сельскохозяйственных растений серой в 2014 г. сульфат аммония приобретен хозяйствами области в количестве 1910 тонн ф.в. Посевная площадь в общественном секторе составила 985,1 тыс. га ([http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1265196018516](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1265196018516)). В 2015 г. – 2450 тонн ф.в., или 128 %, к уровню 2014 года, посевная площадь – 982,1 тыс. га ([http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1265196018516](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1265196018516)). В 2016 г. – 2406 тонн ф.в., или 98,2 %, к уровню 2015 года, посевная площадь – 984,9 тыс. га ([http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1265196018516](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1265196018516)). Доля серосодержащего удобрения в общем объеме закупленных удобрений составила 3,5 % в 2014 году, 4,4 % в 2015 и 2016 гг.

Таким образом, на территории Ульяновской области для всех видов земель сельскохозяйственного назначения с 01.01.2005 по 01.01.2017 увеличился удельный вес почв с низким содержанием (менее 6,0 мг/кг) подвижной серы: в структуре пашни и пастбищ в 1,2 раза, залежи – 1,3 раза, сенокосов 1,5 раза, многолетних насаждений – 1,9 раз. Кроме того, в целом по сельскохозяйственным угодьям – 1,2 раза. Из вышесказанного следует, что запасы доступной серы в землях сельскохозяйственного назначения уменьшаются вследствие естественного процесса выноса данного элемента растениями и вымывания из верхних слоев почвы. Количество вносимых серосодержащих удобрений не достаточно для устранения дефицита элемента, что обуславливает необходимость изучения их влияния на систему «почва–растение».

## **Глава 4. Влияние элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения на свойства чернозема выщелоченного**

Широкое использование минеральных удобрений способствует поддержанию высокой продуктивности агроэкосистем, обеспечивает их стабильность, предотвращает снижение природного плодородия почв. При изучении влияния тех или иных агротехнических приемов важно понимать, как их применение воздействует на степень обеспеченности почвы основными элементами минерального питания, необходимыми для нормального развития сельскохозяйственных культур. Наличие азота, фосфора и калия в питательном растворе в значительной степени определяет интенсивность роста растений, степень поглощения других элементов питания (Ягодин Б.А., 1985).

В течение 2015–2017 гг. мы изучали влияние элементарной серы, серосодержащих соединений на содержание минеральных форм азота, гумуса, подвижного фосфора и калия, динамику кислотности и содержание подвижной серы в почвенном слое. Отбор образцов проводился в 3 срока (перед посевом культуры, в период колошения растений, перед уборкой).

### **4.1. Динамика нитратных и аммонийных соединений азота в почве**

Яровая пшеница является отзывчивой на внесение удобрений культурой. Для корневой системы растений характерна пониженная усваивающая способность. В период вегетации наблюдается высокая интенсивность потребления элементов минерального питания, при этом для формирования 1 т продукции требуется от 35 до 45 кг азота, 9–12 кг фосфора, от 18 до 24 кг калия (Титова Э.В., 2000).

В почве присутствуют многообразные формы азота. Растения непосредственно усваивают в основном аммонийную и нитратную. Через

корни также поглощаются некоторые аминокислоты и амиды. Однако практического значения в корневом питании данные соединения не имеют. Органические формы азота усваиваются растениями лишь после их минерализации почвенной микрофлорой. В почвах под воздействием ферментных систем микроорганизмов органические соединения подвергаются расщеплению или гидролизу. Конечным продуктом являются более простые соединения, которые, в свою очередь, дезаминируют с выделением  $\text{NH}_3$  (Кудеяров В.Н., Башкин В.Н., 1981).

Как считает Ю.И. Ермохин (1995), в течение вегетационного периода на черноземах выщелоченного может накапливаться в зависимости от погодных условий до 60–80 кг/га доступного азота. Растения начинают усваивать элемент при температуре 10 °С. Оптимум ассимиляции наблюдается при 20 °С (Карманенко Н.М., 1986). Аммонийная форма азота хорошо удерживается почвенно-поглощающим комплексом и поэтому сложнее, чем нитратный азот, перемещается по профилю пахотного горизонта. Содержится преимущественно в верхних слоях почвы. В результате обменных реакций  $\text{NH}_4^+$  из поглощенного почвой состояния вытесняется в почвенный раствор. Образование аммонийной формы азота наблюдается в результате деятельности аэробных и анаэробных бактерий, актиномицетов и плесневых грибов в условиях оптимальной температуры и достаточной влажности почвы.

Нитратная форма азота – основной источник азотного питания растений. Содержится, главным образом, в почвенном растворе, не поглощается почвенными коллоидами и не образует малорастворимых соединений. На концентрацию нитратов в почве влияет её обеспеченность органическим веществом, влажность и температура, реакция почвенного раствора. При интенсивном протекании процесса нитрификации основная масса аммонийного азота довольно быстро окисляется до нитратов (В. Т. Куркаев, А. Х. Шеуджен, 2000; Онищенко Л.М., 2007).

Результаты проведенных нами исследований в 2015–2017 гг. показали, что при использовании в технологии возделывания яровой пшеницы элементарной серы, серосодержащих соединений (сульфатов цинка, аммония, кальция) и минерального удобрения формируются благоприятные условия для азотного питания растений (таблицы 6,7,8; приложения 5,6,7).

В 2015 году в почве от начала к концу вегетации растений яровой пшеницы содержание минерального азота снизилось на 2,9 мг/кг (17 %) и составило 14,0 мг/кг. При опудривании семенного материала серосодержащими соединениями количество минерального азота уменьшалось от 1,7 мг/кг (9 %) в случае применения сульфата аммония и до 2,5 мг/кг (14 %) при использовании сульфата цинка, на аналогичных вариантах при внесении минерального удобрения – от 0,7 (4 %) до 1,3 (7 %) мг/кг соответственно. Как показали наблюдения, в почве нитратная форма элемента преобладала над аммонийной в соотношении 1,49–2,00.

В 2016 г. на контрольном варианте содержание минерального азота в течение вегетации культуры снизилось с 16,5 до 13,8 мг/кг, т.е. на 2,7 мг/кг (16 %). На варианте с опудриванием семян яровой пшеницы сульфатом кальция за период вегетации культуры наблюдали снижение обеспеченности пахотного слоя доступными азотом: с 16,3 до 14,7 мг/кг, т.е. на 1,3 мг/кг (7 %). На других вариантах уменьшение составило от 1,6 до 2,4 мг/кг. При совместном применении элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения запасы почвенного азота снизились на 0,7–1,3 мг/кг (4–7 %). Анализ результатов исследования показал, что в пахотном слое нитратная форма элемента преобладала над аммонийной в соотношении 1,48–2,00.

Таблица 6 – Динамика содержания минеральных форм азота в почве (слой 0 – 30 см) под посевами яровой пшеницы при использовании элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения, мг/кг почвы (2015 год)

Вариант	Перед посевом			Колошение			Перед уборкой			
	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	11,1	5,8	16,9	11,5	6,9	18,4	9,2	4,8	14	
2. S	11,5	6	17,5	11,8	7,1	18,9	10	5,1	15,1	
3. ZnSO <sub>4</sub>	11,3	5,9	17,2	11,7	7,1	18,8	9,8	4,9	14,7	
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	11,3	6	17,3	11,9	7,6	19,5	10,1	5,5	15,6	
5. CaSO <sub>4</sub>	11,1	5,8	16,9	11,6	7,4	19	9,9	5	14,9	
<b>6. N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> (фон, NPK)</b>	11,4	6	17,4	12,4	7,7	20,1	10,6	5,4	16	
7.NPK + S	11,7	6,1	17,8	12,7	7,8	20,5	10,9	6	16,9	
8.NPK + ZnSO <sub>4</sub>	11,5	6,1	17,6	12,8	8	20,8	10,7	5,6	16,3	
9.NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	11,4	6	17,4	12,8	8,5	21,3	10,6	6,1	16,7	
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	11,1	5,9	17	12	8,2	20,2	10,4	5,7	16,1	
HCP <sub>05</sub>	Фактор А	0,4	0,2	-	0,6	0,4	-	0,5	0,4	-
	Фактор В	0,6	0,3	-	0,4	0,2	-	0,3	0,2	-

Таблица 7 – Динамика содержания минеральных форм азота в почве (слой 0 – 30 см) под посевами яровой пшеницы при использовании элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения, мг/кг почвы (2016 год)

Вариант	Перед посевом			Колошение			Перед уборкой			
	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	10,9	5,6	16,5	11,3	6,7	18	9,1	4,7	13,8	
2. S	11,1	5,7	16,8	11,6	6,8	18,4	9,7	5	14,7	
3. ZnSO <sub>4</sub>	11	5,6	16,6	11,5	6,9	18,4	9,5	4,7	14,2	
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10,9	5,8	16,7	11,7	7,1	18,8	9,7	5,4	15,1	
5. CaSO <sub>4</sub>	10,8	5,5	16,3	11,4	7,2	18,6	9,8	4,9	14,7	
<b>6. N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> (фон, NPK)</b>	11,1	5,7	16,8	12,2	7,5	19,7	10,2	5,3	15,5	
7.NPK + S	11,4	5,8	17,2	12,5	7,6	20,1	10,3	5,8	16,1	
8.NPK + ZnSO <sub>4</sub>	11,2	5,9	17,1	12,6	7,8	20,4	10,4	5,4	15,8	
9.NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	11,1	5,7	16,8	12,6	8,2	20,8	10,3	5,8	16,1	
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	10,8	5,6	16,4	11,8	8	19,8	10,1	5,5	15,6	
HCP <sub>05</sub>	Фактор А	0,5	0,3	-	0,6	0,4	-	0,5	0,3	-
	Фактор В	0,3	0,2	-	0,5	0,2	-	0,2	0,2	-

Таблица 8 – Динамика содержания минеральных форм азота в почве (слой 0 – 30 см) под посевами яровой пшеницы при использовании элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения, мг/кг почвы (2017 год)

Вариант	Перед посевом			Колошение			Перед уборкой			
	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	11,3	5,9	17,2	11,6	7,2	18,8	9,4	5,1	14,5	
2. S	11,6	6,2	17,8	11,8	7,4	19,2	10,2	5,4	15,6	
3. ZnSO <sub>4</sub>	11,5	6,3	17,8	11,7	7,5	19,2	10	5,3	15,3	
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	11,4	6,1	17,5	12	7,7	19,7	10,2	5,7	15,9	
5. CaSO <sub>4</sub>	11,4	6	17,4	11,6	7,4	19	10,1	5,2	15,3	
<b>6. N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> (фон, NPK)</b>	11,6	6,2	17,8	12,4	7,6	20	10,5	5,6	16,1	
7.NPK + S	11,8	6,2	18	12,5	7,5	20	10,6	6,1	16,7	
8.NPK + ZnSO <sub>4</sub>	11,7	6,3	18	12,6	7,6	20,2	10,7	5,9	16,6	
9.NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	11,6	6,1	17,7	12,4	7,9	20,3	10,6	6,3	16,9	
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	11,4	6,1	17,5	11,9	7,7	19,6	10,4	5,9	16,3	
HCP <sub>05</sub>	Фактор А	0,6	0,3	-	0,6	0,3	-	0,5	0,3	-
	Фактор В	0,4	0,2	-	0,4	0,2	-	0,3	0,2	-

В 2017 году на контрольном варианте содержание неорганических соединений элемента уменьшилось на 2,7 мг/кг (15 %), при обработке семян сульфатом аммония – 1,6 мг/кг (9 %), при использовании последнего на фоне минерального удобрения – на 0,8 мг/кг (4 %). Как показали наблюдения, в почве нитратная форма элемента преобладает над аммонийной в соотношении 1,55–1,94.

В результате интенсивного потребления азота растениями и микроорганизмами в среднем за 3 года исследований запасы его минеральных соединений снижались от 1,7 (9 %) при опудривании семян сульфатом аммония до 2,5 мг/кг (14 %) – сульфатом цинка. На аналогичных вариантах с внесением минерального удобрения уменьшение составило от 0,7 (4 %) до 1,4 мг/кг (7 %).

#### **4.2. Динамика содержания гумуса, подвижных соединений фосфора и обменного калия в почве**

Содержание гумусовых веществ выступает основным критерием плодородия почвы. При его увеличении происходит улучшение физических свойств, водно-воздушного и теплового режимов, ферментативной и биологической активности почвенного слоя. Показатель меняется в зависимости от структуры посевных площадей, способа и интенсивности обработки почвы, почвенно-климатических условий и др. факторов. Гумус является динамической системой, развивающейся в пространстве и времени (Грехова И.В., Семёнов В.К., 2012).

Фосфор выполняет важные функции в процессе обмена веществ растений. К основным способам поддержания оптимального уровня фосфорного питания возделываемых культур относят внесение необходимого количества органических и минеральных удобрений (Грехова И.В., Семёнов В.К., 2012). Фосфор обладает высокой реакционной

способностью. Элемент активно участвует в различных почвенных процессах, в результате которых образуются разнообразные фосфорные соединения (минеральные и органические) (Губенко В.А., 1972). Однако на долю доступных для растений веществ приходится только 10–20 % от общего его валового содержания в пахотном слое черноземе (0,1–0,25 %). В почвах обнаружено до 200 различных фосфорсодержащих минералов. Глинистые почвы содержат больше этого элемента, суглинистые – немного меньше, супесчаные и песчаные почвы – наиболее бедны фосфором (П.А. Чекмарев и др., 2011; Убугунов Л.Л., Энхтуяа Б., Мангатаев Ц.Д., 2012).

Мониторингу содержания подвижного фосфора в почве уделяется особое внимание. Обеспеченность почвы подвижными соединениями данного элемента является одним из критериев окультуренности пахотных земель. Дефицит фосфора ограничивает эффективность азотных удобрений, нарушает сбалансированность минерального питания растений, повышает непроизводительные потери влаги на суммарное испарение, что приводит к сдерживанию продуктивности сельскохозяйственных культур (Чекмарев П.А., Лукин С.В., Юмашев Н.П., 2010; Абрамов А.И., Крымова Е.А., 2014).

Только при достаточном (оптимальном) уровне фосфорного питания можно получить планируемую урожайность сельскохозяйственных культур. Элемент ускоряет формирование корневой системы, способствует рациональному расходованию влаги в растительных тканях, повышает устойчивость к возбудителям болезней, засушливым условиям, низким температурам, улучшает качественные показатели продукции. Большая часть фосфора потребляется в первые фазы роста и развития растений, когда корням свойственна низкая поглощающая способность (Черкасов Е.А., Лобачев Д.А., Саматов Б.К., 2016). При сельскохозяйственном производстве без внесения удобрений параметры фосфатного режима почвы ухудшаются, причем, чем меньше её буферность, тем более выражен этот процесс (Ritchie G.S.P., Weaver D.M., 1993). Кроме норм удобрений, типа почвы

и её свойств, накопление подвижных фосфатов в почве определяется продолжительностью взаимодействия удобрений с почвой, а также её гидротермическим режимом и видовым составом почвенной микрофлоры (Фирсов С.С, 2016)

Наряду с азотом и фосфором, к главным питательным элементам относят и калий. Велика его роль в технологии возделывания зерновых и зернобобовых культур. Калий усиливает интенсивность накопления моносахаров, повышает устойчивость хлебных злаков к полеганию, низким температурам, кратковременным засухам. Элемент важен для нормального синтеза и обновления белков в растениях. При его дефиците уменьшается продуктивность, качество растениеводческой продукции, у зерновых формируется щуплое зерно, снижается прочность соломины, всхожесть и жизнеспособность семян, увеличивается восприимчивость растений к возбудителям болезней (Черкасов Е.А., Лобачев Д.А., Саматов Б.К., 2016). Калий требуется для синтеза углеводов, способствует повышению зимостойкости (Грехова И.В., Семёнов В.К., 2012). Он косвенно воздействует на ассимиляцию и накопление нитратов в растениях, стимулируя включение азота в соединения белковой природы (Агаев В.А., Семенов В.М., Соколов О.А., 1989).

Обеспеченность растений калием оценивают по содержанию обменной формы элемента в почве. Почвы более тяжелого гранулометрического состава, как правило, содержат больше валового и подвижного калия, отличаются повышенной его фиксацией. В пахотном горизонте черноземов преобладает необменное поглощение этого питательного элемента, которому способствует большая концентрация органических веществ при недостаточном увлажнении и сравнительно высокой температуре (Панников В.Д., Минеев В.Г., 1977; Плодородие черноземов России, 1998; П.А. Чекмарев и др., 2011). Из минеральных коллоидов в черноземе выщелоченном присутствуют смектит, где преобладает группа

монтмориллонита, каолинит и иллит, содержащий до 10 %  $K_2O$  и являющийся основным источником элемента для растений (Соляник Г.М., 2004).

До посева яровой пшеницы содержание гумуса в почвенном слое в среднем за 3 года исследования находилось на уровне 4,1–4,6 %, что по градации соответствует группе почв с низкой обеспеченностью (4,0–6,0 %) (таблицы 9,10,11; приложения 8,9,10). При использовании элементарной серы, сульфата цинка, аммония, кальция и минерального удобрения в технологии возделывания яровой пшеницы содержание гумуса изменялось от – 0,1 до + 0,1, что находилось в пределах ошибки опыта.

Анализ результатов исследования показал, что обеспеченность чернозема выщелоченного подвижными соединениями фосфора повышенная и высокая (110–150 мг/кг и 150–200 мг/кг), обменным калием – высокая (120–180 мг/кг). Изменение содержания элементов питания в течение вегетации яровой пшеницы зависело от применения элементарной серы, сульфата цинка, аммония, кальция и минерального удобрения (таблицы 9,10,11; приложения 8,9,10).

Содержание подвижного фосфора в пахотном слое перед посевом яровой пшеницы в среднем составило от 140 до 156 мг/кг, калия – от 141 до 157 мг/кг. К концу вегетационного периода без применения агрохимических средств содержание доступных форм питательных веществ на контрольном варианте в среднем снизилось на 4 мг/кг (2 %) для фосфора и составило 136 мг/кг, концентрация обменного калия уменьшилась на 5 мг/кг (3 %) и равна 136 мг/кг. Использование сульфата цинка уменьшило запасы подвижного фосфора и обменного калия до 143 и 145 мг/кг на 1 (1 %) и 3 мг/кг (2 %) соответственно. К концу вегетационного периода при внесении минерального удобрения калия снизилось на 1 мг/кг (1 %) и составило 152 мг/кг.

Таблица 9 – Влияние применения элементарной серы, серосодержащих соединений в чистом виде и на фоне минерального удобрения на агрохимические показатели почвы (2015 г.)

Вариант	Перед посевом			Колошение			Перед уборкой			
	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	4,4	140	141	4,4	137	137	4,3	134	133	
2. S	4,3	149	145	4,3	150	146	4,4	151	146	
3. ZnSO <sub>4</sub>	4,4	145	148	4,4	144	146	4,4	142	144	
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,4	152	143	4,5	153	145	4,5	153	145	
5. CaSO <sub>4</sub>	4,5	150	146	4,5	150	147	4,5	151	147	
<b>6. N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> (фон)</b>	4,5	155	153	4,5	152	151	4,6	150	151	
7.NPK + S	4,4	157	156	4,4	158	157	4,5	158	157	
8.NPK + ZnSO <sub>4</sub>	4,3	152	158	4,4	150	156	4,4	150	156	
9.NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,3	154	157	4,4	156	159	4,4	156	159	
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	4,4	148	150	4,4	149	152	4,5	149	153	
НСП <sub>05</sub>	Фактор А	0,2	9	8	0,2	9	8	0,2	9	9
	Фактор В	0,2	5	6	0,2	6	5	0,2	6	5

Таблица 10 – Влияние применения элементарной серы, серосодержащих соединений в чистом виде и на фоне минерального удобрения на агрохимические показатели почвы (2016 г.)

Вариант	Перед посевом			Колошение			Перед уборкой			
	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	4,2	138	139	4,1	136	135	4,1	135	134	
2. S	4,1	146	142	4,1	147	144	4,1	147	144	
3. ZnSO <sub>4</sub>	4,2	142	144	4,2	140	145	4,3	139	145	
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,3	149	140	4,3	150	142	4,3	151	142	
5. CaSO <sub>4</sub>	4,4	147	143	4,4	144	144	4,4	144	144	
<b>6. N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> (фон)</b>	4,4	151	150	4,4	152	151	4,4	153	151	
7.NPK + S	4,3	153	152	4,3	154	154	4,3	155	154	
8.NPK + ZnSO <sub>4</sub>	4,2	150	156	4,3	151	156	4,3	151	156	
9.NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,2	151	155	4,3	153	158	4,3	153	158	
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	4,2	146	149	4,3	146	150	4,3	146	150	
НСП <sub>05</sub>	Фактор А	0,2	8	8	0,2	9	8	0,2	9	9
	Фактор В	0,2	5	6	0,2	5	6	0,2	5	6

Таблица 11 – Влияние применения элементарной серы, серосодержащих соединений в чистом виде и на фоне минерального удобрения на агрохимические показатели почвы (2017 г.)

Вариант	Перед посевом			Колошение			Перед уборкой			
	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	4,3	142	144	4,2	139	141	4,2	138	141	
2. S	4,2	151	148	4,2	153	149	4,3	154	149	
3. ZnSO <sub>4</sub>	4,3	146	151	4,3	147	145	4,3	147	145	
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,3	152	146	4,4	155	147	4,4	156	147	
5. CaSO <sub>4</sub>	4,4	153	149	4,5	154	148	4,5	154	148	
<b>6. N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> (фон)</b>	4,4	157	155	4,5	159	154	4,6	159	154	
7.NPK + S	4,3	159	158	4,4	160	159	4,5	160	159	
8.NPK + ZnSO <sub>4</sub>	4,3	154	158	4,3	155	158	4,4	155	158	
9.NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,3	156	157	4,4	159	159	4,4	159	160	
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	4,4	153	154	4,5	154	155	4,5	154	155	
НСП <sub>05</sub>	Фактор А	0,2	9	9	0,2	9	8	0,2	9	9
	Фактор В	0,2	6	7	0,2	6	5	0,2	6	7

Содержание элементов питания осталось без изменений как при использовании сульфата кальция, так и в случае сочетания опудривания семян сульфатом цинка с внесением минерального удобрения. Запасы фосфора остались без изменений при использовании нитроаммофоски.

В среднем применение элементарной серы способствовало увеличению доступных соединений фосфора и калия в пахотном слое на 2 и 1 мг/кг (1 %) до 151 и 146 мг/кг соответственно. При использовании сульфата аммония и элементарной серы на удобренном фоне наблюдали увеличение запасов подвижного фосфора и обменного калия на 2 мг/кг, к концу вегетации яровой пшеницы показатель равен 153 и 158 мг/кг; 145 и 157 мг/кг соответственно.

К концу вегетационного периода при совместном воздействии минерального удобрения и сульфата кальция, аммония произошло увеличение концентрации подвижного фосфора на 1–2 мг/кг и обменного калия на 2–3 мг/кг.

В целом применение в чистом виде элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения способствовало поддержанию запасов подвижного фосфора и обменного калия в пахотном слое чернозема выщелоченного. Данное обстоятельство, возможно, связано с превращением труднодоступных для растений соединений фосфора и калия в усваиваемую форму под воздействием изучаемых факторов (Гибадуллина Х.В. и др. 2009).

#### **4.3. Динамика сульфатной серы в почве и кислотности**

Большое влияние на жизнедеятельность растений и почвенных бактерий, протекание физико- и биохимических процессов в почве оказывает такой показатель как кислотность. Она влияет на поглощение и обмен катионов, тем самым регулируя обеспеченность

пахотного слоя питательными элементами и их доступность для растений (Кречетов П.П., Дианова Т.М., 2008). При повышенной реакции среды наблюдается ряд негативных явлений. Это уменьшение эффективности вносимых удобрений, нарушение усвоения элементов питания растениями, повышение подвижности и доступности элементов-токсикантов, снижение урожайности и качества продукции, падение почвенного плодородия (Черкасов Е.А., Саматов Б.К., Карпов А.В., 2011).

До посева яровой пшеницы реакция почвенного раствора в среднем за 2015–2017 гг. составила 5,3–5,4 ед., что по градации соответствует слабокислой группе почв (5,1–5,5 ед.) (таблица 12,13,14; приложение 11,12,13). Анализ динамики кислотности пахотного слоя показал, что использование элементарной серы, сульфата цинка, аммония, кальция в чистом виде и на фоне минерального удобрения оказало незначительное влияние на рассматриваемый показатель. К концу вегетационного периода его изменение в среднем за период исследований составило от – 0,1 до + 0,1 ед, что не дает возможности судить о достоверности вариации показателя. Использование элементарной серы, серосодержащих соединений отдельно и с минеральным удобрением при выращивании яровой пшеницы не подкисляло почвенный раствор, что, вероятно, обусловлено высокими буферными свойствами черноземов (Маслова И.Я., 2008).

Содержание доступной серы в слоях почвенного профиля подвержено изменению при использовании минеральных удобрений и извести. Под воздействием карбонатного и фосфатного ионов сульфат-ионы обменно вытесняются в почвенный раствор (Ягодин Б.А., 1985). Янишевский Ф.В. и коллеги (1977) установили, что под влиянием длительного применения калийных удобрений в сочетании с двойным суперфосфатом усиливалась минерализация органической почвенной серы. При использовании простого суперфосфата увеличивалось содержание резервной почвенной серы.

Таблица 12 – Влияние применения элементарной серы, серосодержащих соединений в чистом виде и на фоне минерального удобрения на содержание подвижной серы, мг/кг и динамику кислотности (2015 г.)

Вариант	Перед посевом		Колошение		Перед уборкой		
	pH	SO <sub>4</sub>	pH	SO <sub>4</sub>	pH	SO <sub>4</sub>	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	5,4	6,2	5,4	6,0	5,3	5,9	
2. S	5,3	5,9	5,3	6,2	5,2	6,3	
3. ZnSO <sub>4</sub>	5,4	6,3	5,4	6,4	5,4	6,5	
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5,4	6,5	5,4	7,0	5,4	7,3	
5. CaSO <sub>4</sub>	5,4	6,0	5,4	6,4	5,4	6,5	
<b>6. N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> (фон)</b>	5,3	6,1	5,4	6,3	5,4	6,3	
7.NPK + S	5,3	6,2	5,3	6,6	5,3	6,7	
8.NPK + ZnSO <sub>4</sub>	5,3	6,3	5,3	6,7	5,3	6,7	
9.NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5,4	6,6	5,4	7,2	5,4	7,4	
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	5,4	6,4	5,4	7,1	5,4	7,2	
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4
	Фактор В	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3

Таблица 13 – Влияние применения элементарной серы, серосодержащих соединений в чистом виде и на фоне минерального удобрения на содержание подвижной серы, мг/кг и динамику кислотности (2016 г.)

Вариант	Перед посевом		Колошение		Перед уборкой		
	pH	SO <sub>4</sub>	pH	SO <sub>4</sub>	pH	SO <sub>4</sub>	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	5,3	6,1	5,2	5,8	5,2	5,7	
2. S	5,3	6,2	5,2	6,4	5,2	6,5	
3. ZnSO <sub>4</sub>	5,4	6,3	5,4	6,5	5,4	6,5	
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5,3	6,0	5,3	6,8	5,3	7	
5. CaSO <sub>4</sub>	5,3	5,8	5,3	6,2	5,3	6,4	
6. N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (фон)	5,3	6,6	5,4	6,7	5,4	6,9	
7. NPK + S	5,4	6,6	5,4	7,0	5,4	7,1	
8. NPK + ZnSO <sub>4</sub>	5,4	6,5	5,4	6,9	5,4	7	
9. NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5,3	6,4	5,3	7,2	5,3	7,5	
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	5,3	6,8	5,4	7,3	5,4	7,5	
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
	Фактор В	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3

Таблица 14 – Влияние применения элементарной серы, серосодержащих соединений в чистом виде и на фоне минерального удобрения на содержание подвижной серы, мг/кг и динамику кислотности (2017 г.)

Вариант	Перед посевом		Колошение		Перед уборкой		
	pH	SO <sub>4</sub>	pH	SO <sub>4</sub>	pH	SO <sub>4</sub>	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	5,4	6,3	5,4	6	5,3	6	
2. S	5,3	5,8	5,3	6,4	5,3	6,5	
3. ZnSO <sub>4</sub>	5,3	6,4	5,3	6,6	5,3	6,8	
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5,4	6,3	5,4	6,7	5,4	7,1	
5. CaSO <sub>4</sub>	5,3	6,1	5,3	6,8	5,3	7	
6. N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (фон)	5,4	6,6	5,4	6,8	5,5	6,8	
7.NPK + S	5,3	6,2	5,3	6,8	5,3	6,9	
8.NPK + ZnSO <sub>4</sub>	5,3	6,1	5,3	6,8	5,3	7	
9.NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5,3	6,3	5,4	7,1	5,4	7,4	
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	5,3	6,4	5,3	7,0	5,4	7,2	
НСР05	Фактор А	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4
	Фактор В	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3

Танин К.Е. (1965) в опыте на дерново-подзолистом тяжелом суглинке определил, что сульфаты передвигаются с нисходящим током воды, но значительно медленнее ионов хлора. Злаковые культуры не испытывают недостатка в сере при содержании подвижной серы в почве более 7 мг/кг. Однако независимо от её концентрации все яровые культуры отзываются на внесенные перед посевом серосодержащие удобрения (Гайфуллин Р.Р., 2010). В связи со слабой реутилизацией в период налива зерна пшеница нередко нуждается в поступлении экзогенной серы (Маслова И.Я., 1993). Фокин А.Д. и Гозный С.В. (1982) в полевых условиях установили, что основная часть сульфатов, поступивших на поверхность почвы, в течение года остаются в исходной форме. Данный факт позволяет сделать вывод о сорбционном механизме удержания серы в верхнем профиле почвы.

До посева яровой пшеницы содержание подвижной серы в пахотном слое в среднем за 2015–2017 гг. составило от 6,0 до 6,5 мг/кг, что свидетельствует о низкой (6,0 мг/кг) и средней обеспеченности пахотного слоя чернозема выщелоченного элементом (6,1–6,8 мг/кг) (таблица 12,13,14; приложение 11,12,13).

В период колошения растений яровой пшеницы на вариантах с обработкой семян элементарной серой, серосодержащими соединениями концентрация доступной серы в среднем выше контрольного значения на 7–16 %. Наиболее высокое накопление доступной формы элемента наблюдали при использовании сульфата аммония – 6,8 мг/кг, или 116 % от контроля (5,9 мг/кг). При совместном применении серосодержащих удобрений с NPK концентрация подвижной серы в среднем выше контрольного значения на 15–21 %, опытного варианта с использованием нитроаммофоски (6,6 мг/кг) – на 3–9 %. Более высокие запасы сульфатов под посевами яровой пшеницы сформировались при обработке семян сульфатом аммония или кальция – соответственно 7,2 и 7,1 мг/кг, или 121 % от контроля.

Перед уборкой при предпосевной обработке семян элементарной серой, серосодержащими соединениями концентрация доступной серы в среднем выше контрольного значения на 9–21 %, при её сочетании с внесением минерального удобрения – на 17–26 %. На контрольном варианте за вегетационный период концентрация сульфатов в среднем снизилась на 0,3 мг/кг (4 %) и составила 5,9 мг/кг. При опудривании семенного материала элементарной серой, серосодержащими соединениями содержание подвижной формы элемента в пахотном слое увеличилось от 0,3 мг/кг (4 %) в случае сульфата цинка до 0,8 мг/кг (9 %) при использовании сульфата аммония. Внесение минерального удобрения способствовало повышению запасов подвижной серы на 0,3 мг/кг (4 %) и составило 6,7 мг/кг. Вероятно, данное явление обусловлено высвобождением элемента из органических соединений под влиянием деятельности почвенных микроорганизмов (Маслова И.Я., 2008). При обработке семян серосодержащими удобрениями на фоне NPK концентрация доступной серы повысилась от 0,6 мг/кг (9 %) на вариантах с элементарной серой и сульфатом цинка до 1 мг/кг (15 %) в случае использования сульфата аммония. Увеличение запасов сульфатов, как отмечали ранее, вероятно, связано с их обменной сорбцией в пахотном слое чернозема выщелоченного (Фокин А.Д., Гозный С.В., 1982; Маслова И.Я., 2008)

Следует отметить, перед уборкой яровой пшеницы при использовании элементарной серы, серосодержащих соединений концентрация подвижной серы изменялась от 6,4 до 7,4 мг/кг, что свидетельствует о средней обеспеченности (6–12 мг/кг, II группа) пахотного слоя элементом. На вариантах с применением сульфата аммония в чистом виде и на фоне NPK, сульфата кальция совместно с минеральным удобрением концентрация сульфатной серы составила соответственно 7,1, 7,4 и 7,3 мг/кг. В целом применение элементарной серы, сульфата цинка, аммония, кальция создало условия для пополнения почвенных запасов доступной серы на 0,3–0,9 мг/кг (7–13 %) при применении в чистом виде; на 0,6–1,0 мг/кг (8–15 %) – при совместном использовании с минеральным удобрением.

## **Глава 5. Урожайность и качество продукции яровой пшеницы в зависимости от применения в технологии её возделывания элементарной серы, серосодержащих соединений**

### **5.1. Урожайность**

Использование агрохимических средств является одним из важнейших направлений последовательной интенсификации земледелия, снижения уровня зависимости от неблагоприятных климатических условий, роста темпов продуктивности (в т.ч. и увеличение объемов производства зерна) сельскохозяйственных культур, улучшения качественных показателей растениеводческого сырья, планомерного повышения и сохранения почвенного плодородия (Зяблов Е.С., 2006).

Внесение минеральных удобрений – активный и быстродействующий фактор внешней среды, влияющий на процессы обмена веществ, роста и развития растений (Новоселов С.И., Толмачев Н.И., Иванова А.В., 2015). Исследования Е.Н. Яковлева (1971) показали, что при оптимальном соотношении азота, фосфора, калия (1:1:1 и 1,5:1:1) достигается сравнительно высокий уровень минерального питания, наблюдалось увеличение урожайности пшеницы, размещенной по пару, пшенице или кукурузе. Сбалансированное минеральное питание служит ключевым фактором высокой продуктивности сельскохозяйственных культур (Исайчев В.А., Андреев Н.Н., Плечов Д.В., 2016).

Сера оказывает положительное влияние на весь ход продукционного процесса в растениях яровой пшеницы. При сбалансированном азотно-серном питании возможно увеличение урожайности культуры за счет всех элементов структуры урожая. На недостаток серы растения пшеницы реагируют уже с ранних фаз развития. К периоду созревания при внесении серосодержащих удобрений накопление азота в зерне может увеличиваться в 1,5–2 раза. Кроме того, под влиянием таких веществ повышается

аттрактивная способность колоса и коэффициент использования азота удобрений (Маслова И., 2016).

Вегетационные опыты, проведенные на базе ФГБУ ГЦАС «Красноярский», свидетельствовали о возможности увеличения урожайности пшеницы при использовании серосодержащих удобрений: сернокислых калия, магния и элементарной серы. При этом их эффективность доказана на почвах с кислой реакцией почвенного раствора (Патрина М.С., 2011). Испытания с яровой пшеницей в условиях вегетационного опыта на почвах Присалаирской дренированной равнины с низким содержанием валовой (0,06 %) и подвижной (3–4 мг/кг) серы свидетельствовали о повышении урожайности зерна в разные годы при внесении серных соединений совместно с азотными удобрениями в 2–5 раз (Маслова И., 2016).

Результаты исследований по изучению продуктивности яровой пшеницы в зависимости от применения в технологии её возделывания элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения представлены в таблице 15. Анализ материалов 3-х летних исследований показал практически двукратную разницу в урожайности яровой пшеницы в различные годы. Различия обусловлены особенностями погодных условий вегетационных периодов 2015–2017 гг.

Метеорологические условия 2015 г. сложились относительно неблагоприятно для вегетации растений яровой пшеницы. Её начало сопровождалось засушливыми погодными условиями, в середине зафиксированы резкие перепады температур, ближе к окончанию установились влажные холодные условия. В апреле установилась среднесуточная температура воздуха ниже среднемноголетнего значения на 1,3 °С. Количество осадков составило 41,4 мм, или в 2,8 раз выше нормы (14,4 мм). Такие погодные условия создали предпосылки для формирования дефицита доступной серы в пахотном слое почвы.

Таблица 15 – Урожайность зерна яровой пшеницы в зависимости от применения в технологии её возделывания элементарной серы, сульфатов цинка, аммония, кальция и минерального удобрения

Вариант	Урожайность, т/га				Отклонение от контроля	
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2015-2017 гг.	т/га	%
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	2,06	1,77	3,52	2,45	0	0
2. S	2,29	1,81	3,68	2,59	0,14	6
3. ZnSO <sub>4</sub>	2,44	1,85	3,72	2,67	0,22	9
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,50	1,96	3,85	2,77	0,32	13
5. CaSO <sub>4</sub>	2,34	1,95	3,75	2,68	0,23	9
6. N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (фон, NPK)	2,36	2,08	3,84	2,76	0,31	13
7. NPK + S	2,38	2,14	3,96	2,83	0,38	16
8. NPK + ZnSO <sub>4</sub>	2,55	2,17	4,07	2,93	0,48	20
9. NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,58	2,30	4,18	3,02	0,57	23
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	2,46	2,26	4,03	2,92	0,47	19
HCP <sub>05</sub>	Фактор А	0,12	0,09	0,13		
	Фактор В	0,07	0,05	0,08		

Несмотря на сложные метеорологические условия, урожайность яровой пшеницы сформировалась на уровне 2,06–2,58 т/га (по области – 1,51 т/га (<http://www.agro-ul.ru/>)). Обработка посевного материала элементарной серой способствовала увеличению урожайности зерна на 0,23 т/га (11 %), сульфатом кальция – 0,28 т/га (14 %) (контроль – 2,06 т/га). От применения сульфата цинка прибавка её относительно контрольного варианта составила 0,38 ц/га (18 %), сульфата аммония – 0,44 т/га (21 %). Положительное действие серосодержащих удобрений на сбор зерна яровой пшеницы сохранилось и на фоне NPK. Наиболее высокая продуктивность получена при опудривании семян сульфатом цинка или сульфатом аммония. Урожайность составила 2,55–2,58 т/га, или на 23–25 % выше контроля (2,06 т/га).

Сложившиеся в 2016 году погодные условия в целом были благоприятными для яровой пшеницы, однако создали предпосылки для распространения болезней сельскохозяйственных культур. Урожайность зерна получена на уровне 1,77–2,30 т/га (по области – 1,75 т/га (<http://www.agro-ul.ru/>)). Во второй декаде апреля установилась температура воздуха выше 10 °С при обильном выпадении осадков.

В данном году при обработке семян яровой пшеницы серосодержащими удобрениями урожайность увеличилась на 0,04–0,19 т/га (2–11 %). Продуктивность на опытных вариантах с применением сульфата кальция или аммония составила соответственно 1,95 и 1,96 т/га, или на 0,18–0,19 т/га (11 %) выше контроля (1,77 т/га). При использовании серосодержащих удобрений с NPK урожайность повышалась на 0,37–0,53 т/га (21–30 %). Применение сульфата аммония или кальция для обработки посевного материала способствовало увеличению продуктивности растений яровой пшеницы до 2,26–2,30 т/га.

В 2017 год на протяжении всего вегетационного периода наблюдались сложные погодные условия. Несмотря на это, урожайность яровой пшеницы сформировалась достаточно высокой. На опытных вариантах она составила 3,52–4,18 т/га (по области – 2,53 т/га (<http://www.agro-ul.ru/>)). На протяжении мая, июня и июля температура воздуха не превышала среднемноголетние значения при обильном выпадении осадков. В таких условиях возможно формирование дефицита серы.

Прибавка урожайности от опудривания посевного материала серосодержащими удобрениями составила 0,16–0,33 т/га, или 5–9 % от контроля (3,52 т/га). Использование сульфата цинка или кальция повышало продуктивность на 0,20–0,23 т/га (5–6 %). Обработка семян сульфатом аммония увеличила урожайность на 0,33 т/га (9 %). Она составила 3,85 т/га, что практически не уступает действию NPK (3,84 т/га). При совместном использовании серосодержащих удобрений (элементарной серы и сульфатов) и минерального удобрения урожайность зерна изменялась от 3,96

до 4,18 т/га, или на 0,44–0,66 т/га (12–18 %) выше контроля (3,52 т/га). При этом обработка семян элементарной серой оказалось более эффективна на 12 % сульфатом цинка – на 15 %, сульфатом аммония – на 18 %, сульфатом кальция – на 14 %.

В среднем за 3 года исследования урожайность яровой пшеницы изменялась от 2,45 до 3,02 т/га. Из рассматриваемых серосодержащих удобрений наименьшая прибавка получена на варианте с элементарной серой. При её использовании урожайность увеличилась на 0,14 т/га, или 6 %, относительно контроля (2,45 т/га). По-видимому, явление обусловлено низкими темпами окисления серных частиц почвенными серобактериями. На опытных вариантах с обработкой семян сульфатом цинка или кальция урожайность повышалась соответственно на 0,22–0,23 т/га, или 9 %. Эффективное влияние сульфата цинка на продуктивность яровой пшеницы, вероятно, обусловлено не только дополнительным поступлением серы, но и в первую очередь цинка, который является составной частью многих жизненно важных ферментов растений. При использовании сульфата кальция кроме подвижной серы поступали и легкоусвояемые ионы кальция, необходимые для нормального роста и развития корневой системы (Слюсарев В.Н., 2007). При внесении минерального удобрения или обработке посевного материала сульфатом аммония урожайность увеличилась на 0,31–0,32 т/га, или 13 %. Известно, что среди зерновых культур яровая пшеница предъявляют более высокие требования к азотному питанию (Захаров В.Г., 2014). Хорошо растворимый сульфат аммония послужил для растений источником дополнительного азота, что положительно подействовало на ход продукционного процесса в растениях яровой пшеницы.

Использование серосодержащих удобрений на фоне NPK усилило их эффективность. Следовательно, можно говорить о синергизме данных минеральных веществ. При обработке семян элементарной серой прибавка урожайности составила 0,38 т/га, или 16 % относительно контроля (2,45 т/га), что, вероятно, связано с усилением деятельности почвенных

микроорганизмов при внесении минерального удобрения (Марфенина О.Е., 1991). На опытных вариантах с опудриванием посевного материала сульфатом кальция или цинка удобренном фоне наблюдали практически равнозначное повышение урожайности: в среднем за три года она увеличилась на 0,47–0,48 т/га, или 19–20 % соответственно. Преимущество обработки семян сульфатом аммония на удобренном фоне перед контролем составило 0,57 т/га, или 23 %.

Анализ группы вариантов опыта с применением минерального удобрения показал следующее. Обработка семян элементарной серой на фоне NPK по влиянию на продуктивность яровой пшеницы эффективнее использования нитроаммофоски на 0,07 т/га (3 %), сульфатом кальция – 0,16 т/га (6 %), сульфатом цинка – 0,17 т/га (7 %), сульфатом аммония – 0,26 т/га (10 %).

Урожайность яровой пшеницы находилась в прямой положительной зависимости от запасов минерального азота под посевами яровой пшеницы перед уборкой (рисунок 6).

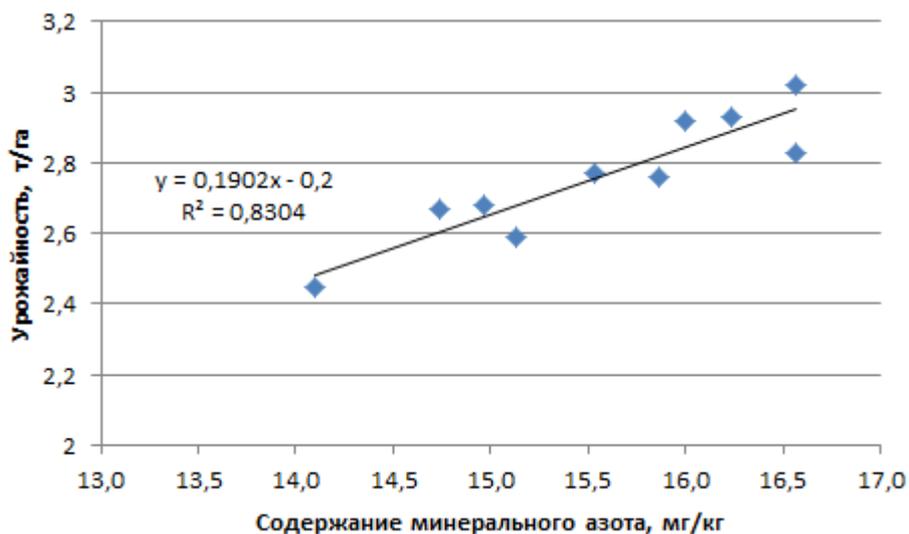


Рисунок 6 – Зависимость урожайности яровой пшеницы (у) от содержания минерального азота в почве (х)

Нами установлена взаимосвязь продуктивности яровой пшеницы от содержания доступной серы под посевами в пахотном слое чернозема

выщелоченного. Охарактеризовали её следующим уравнением линейной регрессии первой степени (действительно в пределах содержания подвижной серы от 5,0 до 10,0 мг/кг):  $y = 0,3501x + 0,3859$  при  $R^2=0,86$ ; где  $y$  – урожайность яровой пшеницы, т/га,  $x$  – содержание подвижной серы, % (рисунок 7). Анализ зависимости показателей свидетельствует о сильной положительной корреляционной связи между концентрацией доступной серы в почве и продуктивностью культуры. Следовательно, сера является одним из определяющих высокую урожайность элементов питания в системе удобрения яровой пшеницы.

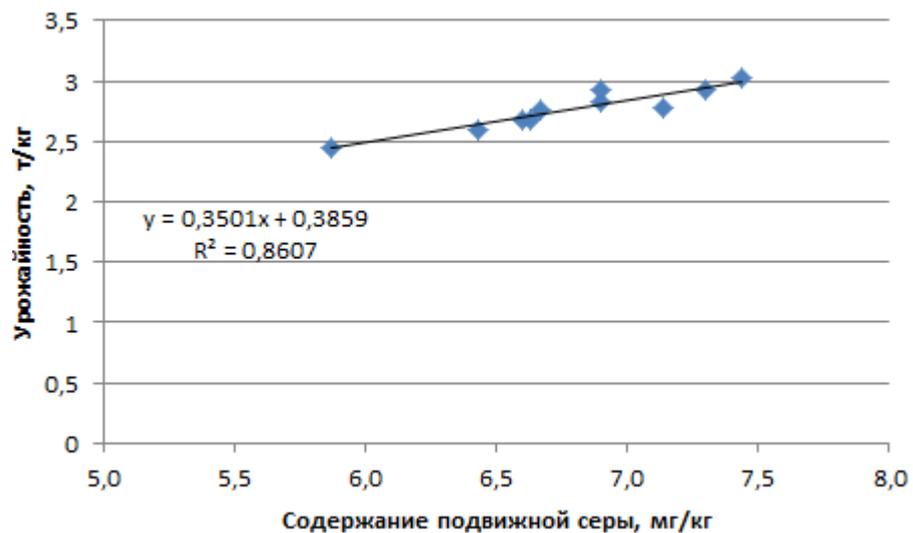


Рисунок 7 – Зависимость урожайности яровой пшеницы (у) от содержания подвижной серы в почве (х)

Таким образом, применение элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения в технологии возделывания яровой пшеницы способствует созданию условий для повышения её продуктивности от 6 до 23 %.

## 5.2. Содержание и вынос основных макроэлементов и серы

На почвах с низким содержанием серы применение серного удобрения повышает коэффициенты использования основных питательных элементов и усиливает их отток из вегетативных органов в зерно (Маслова И., 2016).

Улучшение условий минерального питания за счет применения серосодержащих удобрений в чистом виде и на фоне NPK способствовало изменению концентрации азота, фосфора и калия в продукции яровой пшеницы (таблица 16; приложение 14).

Таблица 16 – Влияние изучаемых факторов на содержание NPK в продукции яровой пшеницы, % (2015–2016 гг.)

Вариант	Содержание NPK, % на сухое вещество					
	в зерне			в соломе		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	2,08	0,71	0,31	0,67	0,20	0,84
2. S	2,14	0,76	0,32	0,70	0,22	0,87
3. ZnSO <sub>4</sub>	2,27	0,77	0,35	0,76	0,23	0,96
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,30	0,79	0,34	0,75	0,23	0,94
5. CaSO <sub>4</sub>	2,21	0,73	0,34	0,74	0,21	0,92
<b>6. N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub>(фон, NPK)</b>	2,36	0,82	0,37	0,84	0,26	1,02
7. NPK + S	2,35	0,87	0,38	0,82	0,27	1,06
8. NPK + ZnSO <sub>4</sub>	2,49	0,85	0,41	0,89	0,28	1,15
9. NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,46	0,86	0,39	0,89	0,29	1,07
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	2,45	0,81	0,38	0,86	0,26	1,05
HCP <sub>05</sub>	В приложении 14					

Определено, что содержание азота в основной продукции изменялось от 2,08 до 2,49 %. При обработке посевного материала сернокислым кальцием, цинком, аммонием содержание макроэлемента в зерне увеличивалось до 2,21–2,30 %, или в относительном выражении на 6–11 %, при сочетании с внесением минерального удобрения – до 2,45–2,49 %, или на 18–20 % (относительных). При использовании элементарной серы азота в зерне яровой пшеницы накопилось до 2,14 %, на фоне NPK – до 2,35 %, что соответственно на 3 и 13 % (относительных) больше, чем на варианте с естественным уровнем плодородия почвы.

При внесении минерального удобрения обработка семян сульфатом цинка позволила получить зерно яровой пшеницы с содержанием азота 2,49 %, что на 20 % (относительных) выше, чем на контрольном варианте.

На поступление фосфора в зерно яровой пшеницы наиболее сильное влияние оказало применение сульфата цинка, аммония при внесении NPK. Уровень накопления элемента в зерне на этих вариантах в среднем незначительно различался и составил 0,85–0,86 %, превышая контроль на 20–21 % (относительных), что согласуется с данными исследований Archer M.V.I. (1974).

Уровень содержания калия в зерне яровой пшеницы при использовании элементарной серы увеличивался до 0,32 %, на удобренном фоне – 0,38 %. При обработке семенного материала сернокислым цинком содержание калия составило 0,35 %, при сочетании с внесением минерального удобрения – 0,41 %.

Увеличение поступления фосфора и калия под влиянием серосодержащих удобрений исследователи связывают с повышением подвижности почвенных элементов под влиянием образующейся серной кислоты (Маслова И., 2016). Меньшее влияние элементарной серы связано с более медленным, чем при взаимодействии сульфатов с почвенным раствором, образованием серной кислоты в процессе ее окисления.

Как и в зерне, при использовании элементарной серы, сульфатов цинка, аммония, кальция для опудривания семян яровой пшеницы отдельно и совместно с внесением минерального удобрения имела место тенденция увеличения концентрации макроэлементов в соломе культуры.

По данным Назарова Ю.И. (1972), степень удобренности полей оказывает на величину выноса элементов питания растениями яровой пшеницы и их соотношение. Вынос азота, фосфора и калия растениями яровой пшеницы также претерпевал изменения под влиянием изучаемых систем удобрений и от массы основной и побочной продукции, концентрации питательных элементов в растениях (таблица 17).

Таблица 17 – Влияние элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения на вынос NPK основной и побочной продукцией яровой пшеницей (2015–2016 гг)

Вариант	Вынос NPK, кг/га						Общий вынос			Вынос на 1 т		
	зерно			солома			NPK, кг/га			зерна, кг/га		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1.	39,8	13,6	5,9	17,3	5,2	21,7	57,2	18,8	27,7	30	10	14
2.	43,9	15,6	6,6	19,4	6,1	24,1	63,2	21,7	30,6	31	11	15
3.	48,7	16,5	7,5	22,0	6,7	27,8	70,7	23,2	35,3	33	11	17
4.	51,3	17,6	7,6	22,6	6,9	28,3	73,9	24,5	35,9	33	11	16
5.	47,4	15,7	7,3	21,4	6,1	26,6	68,8	21,7	33,9	32	10	16
6.	52,4	18,2	8,2	25,2	7,8	30,6	77,6	26,0	38,8	35	12	18
7.	53,1	19,7	8,6	25,0	8,2	32,3	78,1	27,9	40,9	35	12	18
8.	58,8	20,1	9,7	28,4	8,9	36,6	87,1	29,0	46,3	37	12	20
9.	60,0	21,0	9,5	29,3	9,6	35,2	89,3	30,5	44,8	37	13	18
10.	57,8	19,1	9,0	27,4	8,3	33,5	85,2	27,4	42,4	36	12	18

При обработке семян серосодержащими удобрениями количество выносимого азота находилось на уровне 63,2–73,9 кг/га, что в среднем на 11,3 кг/га выше, чем на контроле. На фоне минерального удобрения показатель увеличился до 78,1–89,3 кг/га, превысив значение на варианте с естественным уровнем плодородия почвы в среднем на 26,5 кг/га. При использовании серосодержащих удобрений вынос фосфора составил от 21,7 до 24,5 кг/га. На удобренном фоне предпосевная обработка семенного материала сульфатом аммония увеличила количество выносимого элемента до 30,5 кг/га. На оставшихся вариантах с применением серных соединений показатель изменялся от 27,9 до 29,0 кг/га.

Общий вынос калия находился в пределах от 27,7 кг/га на контрольном варианте до 35,9 кг/га при предпосевной обработке семян сульфатом аммония. При внесении НРК количество выносимого элемента составило 38,8 кг/га. Сочетание его с предпосевной обработкой сульфатом цинка увеличило значение показателя до 46,3 кг/га. При использовании сульфата аммония на удобренном фоне вынос калия достигал уровня 44,8 кг/га.

Рассматривая вынос макроэлементов одной тонной зерна, следует отметить, что при использовании сульфата аммония на фоне минерального удобрения потребление фосфора увеличилось на 1 ед., в сравнении с вариантами с использованием других серосодержащих удобрений. При этом наблюдалось одинаковое потребление азота в случае применения сернокислого цинка или аммония на фоне НРК. Наиболее высокое потребление калия отмечалось на варианте совместного использования сульфата цинка и минерального удобрения и составило 20 кг/га, что на 43 % выше, чем на контроле.

Таким образом, использование элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения способствует увеличению выноса азота, фосфора и калия растениями яровой пшеницы, что обусловлено интенсивным потреблением питательных веществ при формировании основной и побочной продукции культуры.

Сера накапливается во всех частях растения. Для свеклы и картофеля характерно большее накопление элемента в вегетативной части, для зерновых и льна – в основном, в продуктивной части (Танин К.Е., 1965). При рассмотрении качества зерна яровой пшеницы важна оценка уровня содержания серы в основной продукции. При его значении в зерне менее 0,12 % наблюдается дефицит серы в растениях. Принято считать, что содержание серы более 0,12 % не лимитирует формирование и величину урожайности (Хоменко А.Д., 1983; Маслова И.Я., 1993). Применение серосодержащих удобрений привело к изменению концентрации серы

в основной и побочной продукции яровой пшеницы (таблица 18, приложение 14).

Таблица 18 – Влияние изучаемых факторов на содержание серы в продукции яровой пшеницы, % (2015–2016 гг.)

Вариант	Содержание S, % на сухое вещество	
	в зерне	в соломе
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	0,11	0,06
2. S	0,13	0,10
3. ZnSO <sub>4</sub>	0,16	0,12
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,16	0,11
5. CaSO <sub>4</sub>	0,15	0,11
6. N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (фон, NPK)	0,14	0,11
7.NPK + S	0,17	0,12
8.NPK + ZnSO <sub>4</sub>	0,17	0,14
9.NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,17	0,13
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	0,17	0,12
НСР <sub>05</sub>	В приложении 14	

При анализе данных обращает на себя внимание содержание элемента в зерне, которое составляет 0,11 %, что на 0,01 % ниже критического значения показателя (0,12 %). Применение элементарной серы повысило значение показателя до 0,13 %. Использование сульфатных соединений увеличило концентрацию элемента в основной продукции яровой пшеницы до 0,15–0,16 %. Обработка семенного материала серосодержащими удобрениями на фоне NPK повысила концентрацию серы в зерне до 0,17 %. Высокому содержанию азота на данных вариантах (2,35–2,49 %) соответствовало оптимальное соотношение азота к сере (14–15) (Маслова И.Я., Якушева Т.Г., 2017). В побочной продукции наиболее высокое содержание серы наблюдалось при сочетании сульфата цинка и минерального удобрения и составило 0,14 %.

Применение серосодержащих удобрений и минерального удобрения в технологии возделывания яровой пшеницы привело к изменению выноса

серы с продукцией культуры (таблица 19). На контрольном варианте значение показателя составило 3,7 кг/га. При использовании элементарной серы вынос элемента увеличился до 5,4 кг/га, или на 46 %. На вариантах с обработкой семян сульфатом аммония, цинка показатель повысился до 6,9 кг/га, или на 86 %.

Таблица 19 – Влияние элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения на вынос NPK основной и побочной продукцией яровой пшеницей (2015–2016 гг)

Вариант	Вынос S, кг/га		Общий вынос S, кг/га	Вынос на 1 т зерна, кг/га
	зерно	солома		
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	2,1	1,6	3,7	2
2. S	2,7	2,8	5,4	3
3. ZnSO <sub>4</sub>	3,4	3,5	6,9	3
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3,6	3,3	6,9	3
5. CaSO <sub>4</sub>	3,2	3,2	6,4	3
<b>6. N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub>(фон, NPK)</b>	3,1	3,3	6,4	3
7. NPK + S	3,8	3,7	7,5	3
8. NPK + ZnSO <sub>4</sub>	4,0	4,5	8,5	4
9. NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,1	4,3	8,4	3
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	4,0	3,8	7,8	3

Более интенсивное накопление серы в продукции яровой пшеницы зафиксировано при совместном использовании серосодержащих удобрений на фоне NPK. Значение показателя увеличилось более, чем в два раза. Вынос элемента на одну тонну зерна составил от 2 кг/га на контроле до 4 т/га на варианте совместного применения сернокислого цинка и минерального удобрения.

Под влиянием условий питания химический состав зерна пшеницы подвержен глубоким изменениям (Мамченков И.П., Платонов Г.В., 1971; Павлов А.Н., 1984; Кондратенко Е.П. и др., 2016).

На синтез белков зерна пшеницы, формирование их фракционного и аминокислотного состава, накопление клейковины и изменение ее качественных показателей оказывают влияние агротехнические приемы: сортовые различия, регулируемый удобрениями и соответствующей агротехникой пищевой режим, предшествующая культура и др. (Курниренко Ю.Д., Петракова Л.В., 1970).

Достаточная обеспеченность растений серой является основным фактором получения качественного растительного белка. От уровня ее поступления в растения зависит структура, функционирование и взаимодействие белковых соединений в листьях и семенах. У злаковых культур эти процессы зависят от количества образующегося цистеина и оказывают влияние на качество сырья и свойства вырабатываемых из него продуктов питания. Так, при использовании в хлебопечении муки из зерна с низким содержанием серы хлеб приобретает неправильную форму и имеет низкую плотность (Нортон Р., Миккельсен Р., Дженсен Т., 2014). Однако избыточное поглощение серы злаковыми культурами отрицательно влияет на их продуктивность (Аристархов А.Н., 2007).

Известно, что предпосевная обработка семенного материала микроэлементами-синергистами, одним из которых является цинк, улучшает качественные показатели зерна. Установлено, что на варианте с естественным уровнем плодородия почвы содержание белка увеличилось на 0,20–0,86 %, клейковины на 1,8–1,13 %. На удобренном фоне соответствующие показатели улучшились на 0,03–0,57 % и 1,02–1,11 % (Настина Ю.Р., Костин В.И., Настин А.А., 2016).

Под действием серосодержащих удобрений изменялось содержание белка в основной продукции яровой пшеницы (таблица 20, приложение 15).

Таблица 20 – Содержание сырого протеина (Nx5,7)  
в зерне яровой пшеницы, % (2015–2016 гг.)

Вариант	2015 г.	2016 г.	2015- 2016 гг.	Отклонение от контроля	
				%	%
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	11,9	11,8	11,9	0,0	0,0
2. S	12,1	12,3	12,2	0,3	0,3
3. ZnSO <sub>4</sub>	13,2	12,7	12,9	1,1	1,1
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	13,0	13,2	13,1	1,3	1,3
5. CaSO <sub>4</sub>	12,8	12,3	12,6	0,7	0,7
<b>6. N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> (фон, NPK)</b>	13,3	13,6	13,5	1,6	1,6
7. NPK + S	13,1	13,6	13,4	1,5	1,5
8. NPK + ZnSO <sub>4</sub>	14,2	14,2	14,2	2,3	2,3
9. NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	14,6	13,4	14,0	2,1	2,1
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	14,4	13,5	13,9	2,1	2,1
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,7	0,5		
	Фактор В	0,4	0,3		

В среднем за период исследований содержание белка варьировало от 11,9 до 14,2 %, то есть зерно, выращенное при использовании элементарной серы, сульфатов цинка, аммония, кальция и минерального удобрения по этому параметру соответствовало 2-му и 3-му товарному классам в соответствии с ГОСТ Р 52554–2006. На контроле основная продукция соответствовала требованиям 4-го, при внесении NPK, обработке семенного материала сульфатами на удобренном фоне – 2-го, на остальных вариантах – 3-го класса.

Наиболее высокое накопление белковых веществ в зерне яровой пшеницы наблюдалось при сочетании сульфата цинка и минерального удобрения и достигало 14,2 %, что на 2,3 % или относительных 19 % выше, чем контрольное значение. Данное обстоятельство связано с тем, что цинк, как микроэлемент, является неспецифическим активатором некоторых ферментных систем, катализирующих отдельные звенья цепи реакций в превращении минерального азота в органический (Бурунов А.Н., 2011).

Многие исследователи едины во мнении, что содержание клейковины в зерне является наиболее информативным интегральным показателем хлебопекарного качества пшеницы (Казаков Е.Д., 1992). Под клейковиной понимают высокомолекулярный комплекс, состоящий из индивидуальных белковых компонентов. Они в свою очередь могут соединяться между собой с различной прочностью, образуя компактные или рыхлые макромолекулярные агрегаты (Вакар, А.Б. 1968).

В зависимости от действия изучаемых факторов содержание сырой клейковины изменялось в среднем за период исследований от 23,0 до 29,7 % (таблица 21, приложение 15).

Таблица 21 – Содержание сырой клейковины  
в зерне яровой пшеницы, % (2015–2016 гг)

Вариант	2015 г.	2016 г.	2015- 2016 гг.	Отклонение от контроля	
				%	%
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	23,9	22,1	23,0	-	-
2. S	24,7	23,6	24,2	1,2	5
3. ZnSO <sub>4</sub>	28,5	26,6	27,6	4,6	20
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	25,1	27,2	26,2	3,2	14
5. CaSO <sub>4</sub>	27,1	25,5	26,3	3,3	14
<b>6. N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> (фон, NPK)</b>	30,3	27,8	29,1	6,1	26
7. NPK + S	27,5	27,6	27,6	4,6	20
8. NPK + ZnSO <sub>4</sub>	29,8	29,5	29,7	6,7	29
9. NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	26	26,4	26,2	3,2	14
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	27,9	28,0	28,0	5,0	22
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,8	0,7		
	Фактор В	0,5	0,5		

В соответствии с ГОСТ Р 52554–2006 по данному показателю выращенное зерно соответствует нормам второго и третьего класса. В среднем за 2015–2016 гг. исследования наиболее высокое содержание

клейковины отмечено на варианте применения сульфата цинка на удобренном фоне и составило 29,7 %, что выше контроля на 6,7 %, или относительных 29 %. Данное влияние агрохимических средств обусловлено положительным действием макро- и микроэлементов на синтез клейковинных белков в зерне пшеницы.

Анализ сбалансированности белка и клейковины в зерне яровой пшеницы при использовании элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения показал следующее. Уровню белка 11,9–14,2 % соответствует уровень клейковины 23,0–29,7 %. Отмечена сбалансированность между концентрацией белка и клейковины в зерне при использовании сернокислого цинка на фоне НРК: наибольшему содержанию белковых веществ (14,2 %) среди опытных вариантов соответствует наиболее высокий уровень клейковины (29,7 %).

Обращает на себя внимание, что при обработке семенного материала сульфатом аммония на удобренном фоне с высокой концентрацией белка (14,0%) в зерне отмывалось среднее количество клейковины (26,2%), что возможно обусловлено снижением небелкового азота в основной продукции (<http://www.activestudy.info/nakoplenie-belkovyx-frakcij-pri-sozrevanii-pshenicy/>).

### **5.3. Экологическая оценка продукции**

Производство зерна яровой пшеницы является одним из важнейших направлений обеспечения продовольственной безопасности страны. В связи с этим перед сельскохозяйственными производителями стоит задача получать такое зерно, мука из которого помимо высоких хлебопекарных качеств, также соответствовала бы ГОСТам по экологической чистоте (Пугаев С.В., 2013). По содержанию тяжелых металлов (далее – ТМ) продовольственное зерно яровой пшеницы должно отвечать физиологическим требованиям и допустимым уровням Санитарных правил и норм (СанПин 2.3.2.1280-03) (Никитин С.Н., 2014).

Концентрация ТМ в основной продукции изменялось в зависимости от изучаемых факторов (таблица 22; приложение 16).

Таблица 22 – Содержание тяжелых металлов в зерне яровой пшеницы (2015–2016)

Вариант	Содержание тяжелых металлов в зерне яровой пшеницы, мг/кг				
	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	29,9	3,4	0,34	0,07	1,09
2. S	29,3	3,3	0,40	0,07	1,09
3. ZnSO <sub>4</sub>	28,9	3,2	0,33	0,07	1,02
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	28,6	3,3	0,38	0,07	1,02
5. CaSO <sub>4</sub>	28,3	3,2	0,36	0,06	0,91
<b>6. N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> (фон, NPK)</b>	28,1	3,0	0,35	0,06	0,88
7.NPK + S	28,5	3,3	0,39	0,06	0,96
8.NPK + ZnSO <sub>4</sub>	28,6	3,3	0,34	0,07	0,90
9.NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	27,5	3,2	0,33	0,07	0,91
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	27,8	3,1	0,33	0,06	0,89
	ПДК в продукции				
	50	30	0,5	0,1	5,0
НСР <sub>05</sub>	В приложении 16				

Среди опытных вариантов с серосодержащими удобрениями при обработке семян элементарной серой отмечали уровень накопления в зерне по цинку ниже контроля на 0,6 мг/кг (2 %), меди – 0,1 мг/кг (3 %), свинцу выше на 0,06 мг/кг (18 %), по кадмию и никелю наблюдали равенство 0,07 и 1,09 мг/кг соответственно. Влияние элементарной серы на поглощение растениями ионов тяжёлых металлов, возможно связано с некоторым подкислением ризосферы в процессе окисления серы (Нортон Р., Миккельсен Р., Дженсен Т. (2014).

Известно, что применение сульфатной формы серы способствует снижению поглощения растениями элементов-поллютантов (Нортон Р.,

Миккельсен Р., Дженсен Т. (2014). В условиях достаточной обеспеченности растений серой снижаются темпы поступления тяжёлых металлов из корней в наземные органы (Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989). Содержание свинца на вариантах с применением сульфатов для предпосевной обработки семенного материала концентрация цинка, меди и никеля на 3–5 %, 3–6 % и 6–17 % меньше контроля, по свинцу – на 6–12 % выше (однако ниже ПДК), по кадмию – снижение составляет до 14 %.

Если сравнивать уровень накопления тяжелых металлов на опытных вариантах с ПДК, то по цинку он ниже в 1,7–1,8 раз, по меди – в 9–10 раз, по свинцу – в 1,3 – 1,5 раз, по кадмию в 1,4–1,7 раз, по никелю от 4,6 до 5,6 раз.

При использовании элементарной серы, серосодержащих соединений для предпосевной обработки семян в технологии возделывания яровой пшеницы содержание тяжелых металлов в зерне не превышало допустимых значений. Наметившаяся тенденция сохранилась и на удобренном фоне.

Среди изучаемых факторов обработка семенного материала сульфатом кальция оказала более заметное влияние на поступление тяжелых металлов в основную продукцию яровой пшеницы. Данный факт, возможно, связан с тем, что серное соединение при растворении имеет нейтральную реакцию, повышает устойчивость растений к кислотности и снижает возможность поступления тяжелых металлов в растительные ткани. При использовании сульфата кальция в чистом виде содержание цинка в зерне снизилось с 29,9 до 28,3 мг/кг (5 %), меди – с 3,4 до 3,2 мг/кг (6 %), никеля – 1,09 до 0,91 мг/кг (16 %); на удобренном фоне: Zn с 29,9 до 27,8 мг/кг (7 %), меди – с 3,4 до 3,1 мг/кг (9 %), никеля – с 1,09 до 0,89 мг/кг (18 %).

Из вышесказанного следует, что обработка посевного материала элементарной серой, серосодержащими соединениями в чистом виде и на фоне внесения минерального удобрения способствовало получению экологически более безопасной продукции яровой пшеницы.

## **Глава 6. Баланс элементов питания в черноземе выщелоченном при использовании в технологии возделывания яровой пшеницы элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения**

Расчет хозяйственного баланса элементов питания позволяет оценить воздействие применяемой системы земледелия на изменение показателей почвенного плодородия почвы, продуктивность севооборотов и экономическую эффективность производства (Башков А.С. и др., 2017).

В основе эффективного применения минеральных удобрений лежит не только результат их влияния на величину и качество урожая, плодородие почв. При интенсивном поступлении питательных веществ в почву важно отчетливо понимать, сколько их усваивается и закрепляется в почвенном слое, каковы их потери за пределы агробиоценоза, то есть располагать надежной информацией о круговороте и балансе биофильных элементов в системе «почва–растение–удобрение» (Никитишен В.И., и др., 1981). Примерные подсчеты баланса основных питательных веществ могут быть использованы для оценки эффективности изучаемых вариантов системы удобрения (Джанаев Г.Г., Дзанагов С.Х., Гизоев В.С., 1979).

### **6.1. Баланс азота**

Устойчивое функционирование агроэкосистем во многом зависит от условий питания посевов азотом. Его растения потребляют в большем количестве, чем любой другой элемент корневого питания (Минакова О.А., Тамбовцева Л.В., 2016). Для расчета баланса азота определены расходные и приходные статьи. В расходную часть баланса включены: 1) биологический вынос элемента отчуждаемой основной и побочной продукцией яровой пшеницы; 2) потери за счет денитрификации и инфильтрации с осадками, газообразные потери. В приходную часть баланса вошли: поступление

элемента с применяемыми удобрениями, семенным материалом, атмосферными осадками, а также поступление элемента за счет фиксации свободноживущими почвенными микроорганизмами (Куликова А.Х., Никитин С.Н., Сайдышева Г.В., 2012).

В расходных статьях азота большая часть приходится на вынос элемента с отчуждаемой продукцией яровой пшеницы – зерном и соломой. В нашем исследовании эта расходная статья баланса занимает 84–87 %. В процессе денитрификации потери азота примерно составляют 10–20 % в зависимости от дозы внесенного с удобрением элемента. Если она равна 45–60 кг д.в. N/га и менее, то восстанавливается до 10 % элемента. Средняя величина газообразных потерь за счет азота почвы равна 6 кг N/га. Количество вымываемого с атмосферными осадками элемента зависит от почвенного климатических условий территории, и, в первую очередь, от типа водного режима. В лесостепной зоне на почвах среднего гранулометрического состава потери составляют до 5–6 кг/га. Нами принято минимально значение показателя 5 кг/га (Методические указания..., 1999).

Естественное поступление азота с семенным материалом равно 3 кг/га (Мязин Н.Г., 2009), атмосферными осадками – 5 кг/га (Бюллетень..., 2013). В приходной части баланса основные место занимают поступления вносимых удобрений (до 74 %). На вариантах с применением минерального удобрения фактически поступившее количество азота составило 40 кг/га. При использовании сульфата аммония дополнительно внесено 0,1 кг/га азота. Свободно живущие микроорганизмы почвы способны связывать молекулярный азот атмосферного воздуха. В соответствии с литературными источниками (Методические указания..., 1999) за счет несимбиотической фиксации в зависимости от почвенно-климатических особенностей региона синтезируется от 3 до 10 кг N/1 га.

Баланс азота в зависимости от применения элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения при выращивании яровой пшеницы представлен в таблице 23.

Таблица 23 – Баланс азота в черноземе выщелоченном в зависимости от применения элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения при выращивании яровой пшеницы, кг/га (2015–2016 гг.)

Вариант	Вынос элемента						Поступление элемента					Баланс, ±
	с зерном	с соломой	потери азота за счет денитрификации	газообразные потери азота почвы	Потери за счет вымывания	всего	с семенами	с осадками	с удобрениями	несимбиотическая азотфиксация	всего	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	39,8	17,3	–	6	5	68,1	3	5	–	6	14	-54,1
2. S	43,9	19,4	–	6	5	74,3	3	5	–	6	14	-60,3
3. ZnSO <sub>4</sub>	48,7	22,0	–	6	5	81,7	3	5	–	6	14	-67,7
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	51,3	22,6	–	6	5	84,9	3	5	0,1	6	14,1	-70,8
5. CaSO <sub>4</sub>	47,4	21,4	–	6	5	79,8	3	5	–	6	14	-65,8
<b>6. N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> (фон, NPK)</b>	52,4	25,2	4	6	5	92,6	3	5	40	6	54	-38,6
7. NPK + S	53,1	25,0	4	6	5	93,1	3	5	40	6	54	-39,1
8. NPK + ZnSO <sub>4</sub>	58,8	28,4	4	6	5	102,2	3	5	40	6	54	-48,2
9. NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	60,0	29,3	4	6	5	104,3	3	5	40,1	6	54,1	-50,2
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	57,8	27,4	4	6	5	100,2	3	5	40	6	54	-46,2

Анализ данных показал, что в среднем за период исследования при использовании элементарной серы, сульфата цинка и кальция поступление азота составило 14 кг/га, сульфата аммония – 14,1 кг/га, которое связано с содержанием элемента в семенном материале, атмосферных осадках и фиксацией азота свободноживущими бактериями; на удобренном фоне показатель увеличился до 54 и 54,1 кг/га вследствие применения минерального удобрения в дозе 40 кг/га и поступлением азота с сульфатом аммония соответственно. Суммарное значение расходной части баланса по вариантам опыта в среднем изменялось от 68,1 до 104,3 кг/га.

На всех опытных вариантах наблюдался отрицательный баланс азота. Разность между приходной и расходной частями баланса составила от – 70,8 кг/га при использовании сульфата аммония до – 38,9 кг/га в случае внесения минерального удобрения в чистом виде, что, вероятно, связано с ростом урожайности яровой пшеницы. Следует обратить внимание, на вариантах с применением минерального удобрения и элементарной серы, серосодержащих соединений по сравнению с использованием последних в чистом виде напряженность баланса снижается: при обработке семян элементарной серой на 21,2 кг/га (35 %), опудривании сульфатом цинка – 19,5 кг/га (29 %), сульфатом аммония – 20,6 кг/га (29 %), сульфатом кальция – 19,6 кг/га (30 %).

## **6.2. Баланс фосфора**

Баланс фосфора в зависимости от применения элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения в технологии возделывания яровой пшеницы приведен в таблице 24.

Усвоенное растениями количество элемента (его вынос) находилось на уровне 21,7 кг/га при опудривании семян элементарной серой и не превышало 30,6 кг/га в случае обработки посевного материала сульфатом аммония на фоне NPK.

Поступление фосфора(40 кг/га) связано с применением согласно схеме исследований нитроаммофоски, следовательно, формирование урожая происходило в основном за счет внесения удобрений (Пилипенко Н.Г., Андреева О.Т., 2014).

Таблица 24 – Баланс фосфора в черноземе выщелоченном в зависимости от применения серосодержащих соединений и минерального удобрения при выращивании яровой пшеницы, кг/га (2015–2016 гг.)

Вариант	Вынос фосфора		всего	Поступление фосфора		баланс
	с зерном	соломой		удобрениями	всего	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	13,6	5,2	18,8	–	–	-18,8
2. S	15,6	6,1	21,7	–	–	-21,7
3. ZnSO <sub>4</sub>	16,5	6,7	23,2	–	–	-23,2
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	17,6	6,9	24,5	–	–	-24,5
5. CaSO <sub>4</sub>	15,7	6,1	21,8	–	–	-21,8
<b>6. N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> (фон,NPK)</b>	18,2	7,8	26	40	40	14
7.NPK + S	19,7	8,2	27,9	40	40	12,1
8.NPK + ZnSO <sub>4</sub>	20,1	8,9	29	40	40	11
9.NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	21,0	9,6	30,6	40	40	9,4
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	19,1	8,3	27,4	40	40	12,6

Анализ данных показал, что на вариантах с применением серных соединений в чистом виде наблюдался отрицательный баланс элемента: от – 23,2 кг/га при опудривании семян сульфатом цинка до – 21,7 кг/га при использовании элементарной серы.

Внесение минерального удобрения способствовало улучшению баланса фосфора до положительных значений: от 9,4 кг/га при обработке посевного материала сульфатом аммония до 12,6 кг/га – сульфатом кальция.

### 6.3. Баланс калия

Данные по влиянию изучаемых факторов на баланс калия представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Баланс калия в черноземе выщелоченном в зависимости от применения элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения при возделывании яровой пшеницы, кг/га (2015–2016 гг.)

Вариант	Вынос калия		Потери за счет вымывания	всего	Поступление калия		баланс
	с зерном	соломой			с удобрениями	всего	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	5,9	21,7	2	29,6	–	–	-29,6
2. S	6,6	24,1	2	32,7	–	–	-32,7
3. ZnSO <sub>4</sub>	7,5	27,8	2	37,3	–	–	-37,3
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7,6	28,3	2	37,9	–	–	-37,9
5. CaSO <sub>4</sub>	7,3	26,6	2	35,9	–	–	-35,9
<b>6. N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> (фон, NPK)</b>	8,2	30,6	2	40,8	40	40	-0,8
7. NPK + S	8,6	32,3	2	42,9	40	40	-2,9
8. NPK + ZnSO <sub>4</sub>	9,7	36,6	2	48,3	40	40	-8,3
9. NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	9,5	35,2	2	46,7	40	40	-6,7
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	9,0	33,5	2	44,5	40	40	-4,5

Расходная часть баланса элемента складывалась из выноса его отчуждаемой продукцией яровой пшеницы и потерь за счет вымывания, величина которых для почв среднего гранулометрического состава лесостепной зоны равна 2–3 кг/га. При этом нами принят минимальный уровень показателя – 2 кг/га (Методические указания..., 1999). Расход калия варьировал от 32,7 кг/га при опудривании семян элементарной серой до 48,3 кг/га на варианте с обработкой посевного материала сульфатом

цинка. Приходная часть баланса калия состояла из поступления элемента с минеральным удобрением и в соответствии со схемой опыта составила 40 кг/га.

Сопоставление прихода и расхода элемента показало, что баланс калия на вариантах опыта имеет отрицательное значение, однако использование элементарной серы, серосодержащих соединений совместно с внесением минерального удобрения уменьшает его в 4,5–11,3 раза, чем при использовании элементарной серы, сульфата цинка, аммония, кальция в чистом виде. На группе вариантов с удобрённым фоном баланс калия был близким к бездефицитному (от – 8,3 при обработке семян сульфатов цинка до – 0,8 кг/га при внесении минерального удобрения в чистом виде).

#### **6.4. Баланс серы**

Недостаток серы в равной степени может наблюдаться на почвах разных генетических типов, образованных на граните, осадочных породах озер, базальте, лессах, на вулканических и аллювиальных почвах, различной мощности, независимо от количества осадков, ирригационной воды и механического состава (Слущкая Л.Д., 1972). Общий запас серы в почве определяется почвообразующей породой. Больше подвержены появлению серной недостаточности хорошо дренированные, легкие, малогумусные почвы в районах с большим количеством осадков. При повышенном содержании растворимых солей в верхних горизонтах почвенного профиля в основном дефицит серы не наблюдается. Незасоленные почвы без внесения удобрений не могут обеспечить растения доступной сере в объеме, достаточном для реализации высокой продуктивности сельскохозяйственных культур в течение длительного времени (Слущкая Л.Д., 1972).

От общего содержания серы в почве на долю органических соединений приходится 90–95 %. Сосредоточена она в гумусе (0,5 %) и представлена эфирами серной кислоты и связанной с углеродом серой. Конечным

продуктом минерализации таких соединений является серная кислота. Высвобождение серы из органических веществ наблюдается в случаях, когда отношение S к C близко к 100 с колебаниями от 80 до 200. В полевых условиях – 10–6,7 единиц. При содержании в почве гумуса 4,4 % высвобождение серы составит 2,2 мг/кг или более 6 кг/га в год (Агеев В.В., Лобанкова О.Ю., Серая Л.В., 2017).

Баланс серы зависит от следующих компонентов: источником серы для растений являются почва, атмосфера и удобрения; расход и потери элемента определяются отчуждением с урожаем, выщелачиванием осадками и ирригационными водами (Слуцкая Л.Д., 1972). С атмосферными осадками в европейской части России поступает 5–10 кг/га, в отдельных районах до 15–17 кг/га серы. Порядка 15–25 кг/га серы может вымываться из верхнего горизонта почвы и мигрировать до грунтовых вод (Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Прокопенко В.В., 2005; Лукин С.В., Меленцова С.В., Авраменко П.М., 2006). Сложно определить количество серы, которое растения возвращают в почву в процессе жизнедеятельности. Р.Х. Айдиняном (1958) зафиксировано выделение серы в почву корневой системой чайного куста при внекорневом питании листьев растения радиоизотопом  $S^{35}$ .

Данные по влиянию на баланс серы в почве использования элементарной серы, серосодержащих соединений и минеральных удобрений в технологии возделывания яровой пшеницы представлено в таблице 26. Расходная часть баланса элемента состояла из выноса его отчуждаемой продукцией яровой пшеницы и потерь за счет вымывания, величина которых принята в размере 20 кг/га. Потребление серы растениями изменялся от 25,5 кг/га при опудривании семян элементарной серой до 28,5 кг/га на варианте с обработкой посевного материала сульфатом цинка и внесением минерального удобрения. Приходная часть баланса серы складывалась из поступления элемента с серосодержащими удобрениями с учетом его массовой доли в них и составила от 0,3 до 1,5 кг/га.

Таблица 26 – Баланс серы в черноземе выщелоченном в зависимости от применения элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения при возделывании яровой пшеницы, кг/га (2015–2016 гг.)

Вариант	Вынос серы		Потер и за счет вымыв ания	всего	Поступление серы		всего	баланс
	с зерном	соломой			с удобрениями	с осадками		
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	2,1	1,6	20	23,7	0	11,0	11	-12,7
2. S	2,7	2,8	20	25,5	1,5	11,0	12,5	-13
3. ZnSO <sub>4</sub>	3,4	3,5	20	26,9	0,3	11,0	11,3	-15,6
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3,6	3,3	20	26,9	0,4	11,0	11,4	-15,5
5. CaSO <sub>4</sub>	3,2	3,2	20	26,4	0,4	11,0	11,4	-15
<b>6. N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> (фон,NPK)</b>	3,1	3,3	20	26,4	0	11,0	11	-15,4
7.NPK + S	3,8	3,7	20	27,5	1,5	11,0	12,5	-15
8.NPK + ZnSO <sub>4</sub>	4,0	4,5	20	28,5	0,3	11,0	11,3	-17,2
9.NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,1	4,3	20	28,4	0,4	11,0	11,4	-17
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	4,0	3,8	20	27,8	0,4	11,0	11,4	-16,4

Разность между приходной и расходной частями баланса составила от – 13,0 кг/га при использовании элементарной серы до – 17,9 кг/га в случае применения сульфата цинка с внесением минерального удобрения, что, обусловлено ростом урожайности яровой пшеницы.

### 6.5. Интенсивность баланса

После проведения расчета баланса элементов питания растений, можно приступить к определению показателя его интенсивности,

представляющего собой отношение суммарной величины поступления к общему расходу и выраженное в процентах.

Данные по интенсивности баланса азота, фосфора, калия серы при использовании элементарной серы, серосодержащих соединений отдельно и на удобренном фоне приведены в таблице 27.

Таблица 27 – Интенсивность баланса питательных элементов  
в почве, % (2015-2016 гг.)

Вариант	Интенсивность баланса			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	21	0	0	46
2. S	19	0	0	49
3. ZnSO <sub>4</sub>	17	0	0	42
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	17	0	0	42
5. CaSO <sub>4</sub>	18	0	0	43
<b>6. N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> (фон, NPK)</b>	58	154	98	42
7. NPK + S	58	143	93	45
8. NPK + ZnSO <sub>4</sub>	53	138	83	40
9. NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	52	131	86	40
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	54	146	90	41

При использовании элементарной серы, сульфата цинка, аммония, кальция в чистом виде возмещение азота находилось на уровне 17–19 %, фосфора и калия на нулевом, т.е. использовались почвенные запасы данных элементов, серы – 42–49 %. Совместное использование элементарной серы, серосодержащих соединений с минеральным удобрением способствовало увеличению показателя: для азота до 52–58 %, фосфор возмещался на 131–154 %, калий 83–98 %, сера – 40–45 %. По калию интенсивность баланса считается приемлемой, т.е. более 80 % (Прянишников Д.Н., 1952).

Низкое возмещение азота и серы в настоящее время не вызывает опасений ввиду того, что при использовании элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения концентрация азота и серы в почве сохраняется на уровне 14,9–16,6 и 6,4–7,4 мг/кг соответственно. Известно (Лукин С.В., 2012), что подвижные и малоподвижные формы питательных веществ в почве пребывают в состоянии динамического равновесия. В связи

с чем, высокоплодородные почвы, к которым относятся и черноземы, могут сохранять накопленный потенциал даже при дефицитном балансе основных элементов питания. Однако, многочисленные полевые испытания, убедительно доказывают, что длительное возделывание сельскохозяйственных культур в условиях отрицательного баланса питательных элементов приводит к ухудшению показателей почвенного плодородия и уменьшению продуктивности земледелия.

При использовании элементарной серы, серосодержащих соединений в чистом виде сложился напряженный баланс азота, фосфора, калия и серы в связи с большей урожайностью основной и побочной продукции. Баланс элементов питания при выращивании яровой пшеницы был дефицитным: по азоту от – 70,8 до – 60,3 кг/га, по фосфору от – 24,5 до – 21,7 кг/га, калию от – 37,9 до – 32,7 кг/га, сере от – 15,6 до – 13,0 кг/га. Совместное использование элементарной серы, серосодержащих соединений с минеральным удобрением способствовало возмещению затрат элементов питания. Интенсивность баланса составила: по азоту возмещался до 52–58 %, фосфору – на 131–154 %, калию – 83–98 %, сере – 40–45 %. Наиболее высокое потребление элементов питания отмечено при обработке посевного материала сульфатом аммония и с совместным внесением минерального удобрения.

## **Глава 7. Экономическая и биоэнергетическая эффективность технологий возделывания яровой пшеницы с применением элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения**

При внедрении научных рекомендаций в производственный процесс одним из важных факторов является экономический эффект от использования разрабатываемых технологий выращивания сельскохозяйственных культур (Кириллова Е.В., Копылов А.Н., 2015). Увеличение объемов получаемой продукции нередко сопровождается снижением цен на нее. Положение усугубляется повышением затрат на приобретение ресурсов (Чемерис М.С., Зубко И.А., 2012; Степных Н.В., 2013). В сложившейся ситуации привлекательными становятся технологии возделывания сельскохозяйственных культур целесообразные с экономической точки зрения, обеспечивающие положительный рост производства и соответствующие хозяйствам по оптимальным критериям (Державин Л.М., 2013), способствующие производству качественной продукции с минимальными издержками на единицу товара (Глызина Д.А., Щербаков А.В., 2006). Минеральные удобрения представляются мощным инструментом повышения эффективности зернового производства, однако нерациональное применение их может принести непоправимый ущерб здоровью людей и состоянию окружающей среды. Их использование должно отвечать требованиям экономической целесообразности и экологической безопасности (Зяблов Е.С., 2006).

Объем производства растениеводческой продукции во многом определяется рядом причин и обстоятельств: специализацией хозяйства, наличием земельных, трудовых и материальных ресурсов, свойствами обрабатываемых сельскохозяйственных земель, количеством внесенных удобрений, качеством семян, способами и сроками сева, уборки урожая,

применением передовых технологий обработки почвы и возделывания сельскохозяйственных культур, а также природно-климатическими условиями района возделывания (Гриценко О.Н., 2010). В случае применения удобрений важно достичь не только агрономической эффективности агрохимического приема, когда обеспечивается увеличение продуктивности и получение дополнительного зерна на 1 кг д.в., но также установить насколько экономически оправданы затраты, связанные с их внесением (Янковский Н.Г., Овсянникова Г.В., Доценко С.Н., 2013).

Результаты экономической оценки технологий возделывания яровой пшеницы с использованием серосодержащих удобрений представлены в таблице 28. Анализ данных, показал следующее. Наибольшая стоимость произведенной продукции наблюдалась при обработке семян сульфатом аммония и составила: 22,16 тыс. рублей/га при отдельном его использовании и 24,16 тыс. рублей/га – на удобренном фоне, что выше контроля на 2,56 (13 %) и 4,56 тыс. рублей/га (23 %) соответственно. Применение элементарной серы и сульфатов в чистом виде позволило получить денежную выручку от реализации зерна в размере от 20,72 до 22,16 тыс. рублей/га, или 105,7–113,0 % относительно контроля. При их использовании на удобренном фоне доход составил от 22,64 до 24,16 тыс. рублей/га, или 115,5 – 123,2 % по отношению к варианту с естественным плодородием почвы и на 102,9 – 109,8 % – выше, чем при внесении удобрения.

Производственные затраты, связанные с применением серосодержащих удобрений в технологии возделывания яровой пшеницы в чистом виде, изменялись от 10,82 до 11,52 тыс. рублей/га, что выше контрольного значения на 0,4–1,1 тыс. рублей/га, или 4–11 % соответственно. На удобренном фоне издержки увеличились на 6,86–8,25 тыс. рублей/га, или 66–79 % относительно контроля, и составили 17,28–18,67 тыс. руб./га. Последнее обусловлено достаточно высокой стоимостью нитроаммофоски (от 19 тыс. рублей за 1 тонну удобрения) и затратами на её внесение.

Таблица 28 – Экономическая эффективность производства зерна яровой пшеницы с предпосевной обработкой семян элементарной серой, серосодержащими соединениями и внесением минерального удобрения (с 1 га посева)

Показатель	Вариант									
	Без удобрений (контроль)	S	ZnSO <sub>4</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub>	N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (NPK, фон)	NPK + S	NPK + ZnSO <sub>4</sub>	NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NPK + CaSO <sub>4</sub>
Урожайность, т	2,45	2,59	2,67	2,77	2,68	2,75	2,83	2,93	3,02	2,92
Стоимость продукции, тыс. рублей	19,60	20,72	21,36	22,16	21,44	22,00	22,64	23,44	24,16	23,36
Производственные затраты, тыс. рублей	10,42	10,82	11,52	10,87	10,84	17,43	17,60	18,67	17,28	17,56
Себестоимость 1 т, тыс. рублей	4,25	4,18	4,32	3,93	4,05	6,35	6,22	6,37	5,82	6,02
Условный чистый доход, тыс. рублей	9,18	9,90	9,84	11,29	10,60	4,57	5,04	4,77	6,58	5,80
Уровень рентабельности, %	88	92	85	104	98	26	29	26	37	33

Себестоимость 1 тонны зерна на вариантах с серосодержащими удобрениями составила от 4,18 до 4,32 тыс. рублей, при совместном использовании с внесением минерального удобрения – 5,82– 6,22 тыс. рублей. Опудривание посевного материала сульфатом аммония позволило снизить себестоимость 1 т продукции на 8 %, сульфатом кальция – 5 %, элементарной серой – 2 %. В свою очередь обработка семян сульфатом цинка способствовала увеличению показателя на 2 %, что связано с его достаточно высокой стоимостью (от 24 рублей за 10 г). На аналогичных вариантах из группы с внесением минерального удобрения себестоимость возрастала на 37–50 % по сравнению с контролем.

При обработке семян яровой пшеницы элементарной серой и сульфатами условный чистый доход изменялся от 9,90 до 11,29 тыс. рублей, или на 7–23 % выше контроля, при сочетании с внесением минерального удобрения – 4,77– 6,58 тыс. рублей. Использование серосодержащих удобрений для предпосевной обработки семян яровой пшеницы более рентабельно по сравнению с их использованием на фоне NPK. Уровень рентабельности на варианте с сульфатом цинка составил 85 %, или на 3 % ниже контроля. Применение элементарной серы повысило прибыльность производства зерна яровой пшеницы до 92 %, сульфата кальция – до 98 %, что на 4 и 10 % выше контрольного варианта. Обработка семян сульфатом аммония стала наиболее экономически эффективным агрохимическим приемом из изучаемых факторов. Рентабельность составила 104 %, или на 16 % лучше контроля. При внесении минерального удобрения и обработки семян элементарной серой или сульфатами она не превышала 37 %.

Оценка экономической эффективности показала, что при стоимости зерна порядка 8 тыс. рублей за тонну уровень рентабельности применения в технологии возделывания яровой пшеницы серосодержащих удобрений изменялся от 85 до 104 %, в свою очередь при сочетании с внесением минерального удобрения – не превышал 37 %.

Из-за нестабильности цен на произведенную продукцию и материально-технические ресурсы в условиях рыночной экономики основные показатели экономической эффективности не всегда позволяют получить объективную оценку технологическим операциям в сельскохозяйственном производстве (Чепец Е.С., Чепец С.А., 2013).

Рациональному потреблению топлива и электроэнергии в аграрном секторе может способствовать применение подсистемы биоэнергетической оценки технологических процессов в растениеводстве. Она позволяет выбрать наиболее эффективные технологии возделывания сельскохозяйственных культур (Лойко В.И., Ткаченко В.В., 2015; Оленин О.А., Попов Ф.А., Носкова Е.Н., 2016). Основные слагающие биоэнергетической оценки – это валовая и обменная энергия, накопленная урожаем и совокупная энергия, которая израсходуется на производство этой энергии (Григорьев К.В., Шашкаров Л.Г., 2017).

Энергетические затраты, пошедшие на производство зерна, полностью окупались выходом валовой энергии на всех опытных вариантах, однако, эффективность их была различна (таблица 29).

При использовании серосодержащих удобрений в чистом виде суммарные энергетические затраты изменялись от 17,08 ГДж/га на варианте с опудриванием семян элементарной серой до 17,25 ГДж/га – сульфатом аммония. На удобренном фоне затраты антропогенной энергии увеличивались и составили 22,25–22,44 ГДж/га, что в среднем на 30 % выше, в сравнении с показателем на однотипных вариантах опыта без NPK. Биоэнергетическая эффективность технологий возделывания яровой пшеницы зависит не только от совокупных энергетических затрат, но и от энергии, накопленной в продукции (Никитин С.Н., Куликова А.Х., Карпов А.В., 2015).

Таблица 29 – Биоэнергетическая эффективность выращивания яровой пшеницы в зависимости от применения в технологиях ее возделывания элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения

Вариант	Урожайность, т/га	Затраты техногенной энергии на производство зерна, ГДж/га	Накоплено энергии в зерне, ГДж/га	Биоэнергетический коэффициент, ед.
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	2,45	16,81	40,31	2,40
2. S	2,59	17,08	42,67	2,50
3. ZnSO <sub>4</sub>	2,67	17,16	43,93	2,56
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,77	17,25	45,57	2,64
5. CaSO <sub>4</sub>	2,68	17,17	44,09	2,57
<b>6. N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> (NPK, фон)</b>	2,76	22,05	45,41	2,06
7. NPK + S	2,83	22,25	46,50	2,09
8. NPK + ZnSO <sub>4</sub>	2,93	22,35	48,20	2,16
9. NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3,02	22,44	49,68	2,21
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	2,92	22,34	47,98	2,15

Как показал анализ данных, ее количество изменялось от 42,67 ГДж/га при опудривании семян элементарной серой до 49,68 ГДж/га при сочетании внесения минерального удобрения с обработкой посевного материала сульфатом аммония. Показатель находился в прямой зависимости от урожайности зерна яровой пшеницы.

Главный критерий энергетической эффективности технологий возделывания сельскохозяйственных культур – энергетический коэффициент. Он характеризует отношение энергии, накопленной в основной продукции, к величине затраченной антропогенной энергии (Зиадин Сами Дия, Тагасов В.И., 2009). Как показали расчеты, в блоке опытных вариантов без внесения основного удобрения технология

возделывания яровой пшеницы с обработкой семян сульфатом аммония и сульфатом кальция обладала большей эффективностью, т.е. получено оптимальное соотношение энергозатрат. При этом биоэнергетический коэффициент находился на уровне 2,64 и 2,57 ед., соответственно. Среди вариантов опыта более интенсивное накопление энергии в зерне наблюдалось при использовании средств для предпосевной обработки семян совместно с внесением минерального удобрения, однако и затраты на её получение оказались велики. Поэтому биоэнергетический коэффициент на вариантах группы без применения NPK не превышал 2,21 ед. Наименьшей энергетической эффективностью обладали варианты с использованием нитроаммофоски и применением элементарной серы на удобренном фоне: критерий соответственно равен 2,06 и 2,09 ед.

Обязательным условием энергетической оценки является рассмотрение энергетического потенциала почвы. При учете показателей почвенного плодородия возможно существенное изменение степени полезности изучаемых технологий. Однако проведенный нами анализ указывает на эффективность использования элементарной серы и серосодержащих соединений, минерального удобрения в технологии возделывания яровой пшеницы.

Семена, живой труд, техника, услуги, удобрения и другие составляющие технологий возделывания сельскохозяйственных культур имеют определенную величину энергии. Она была затрачена на их производство или израсходована в связи с их использованием (Егорова О.В., Григорьева Г.В., 2013). Структура затрат энергии при обработке семян яровой пшеницы серосодержащими удобрениями в чистом виде и на фоне NPK представлена в графическом виде (рисунок 8).

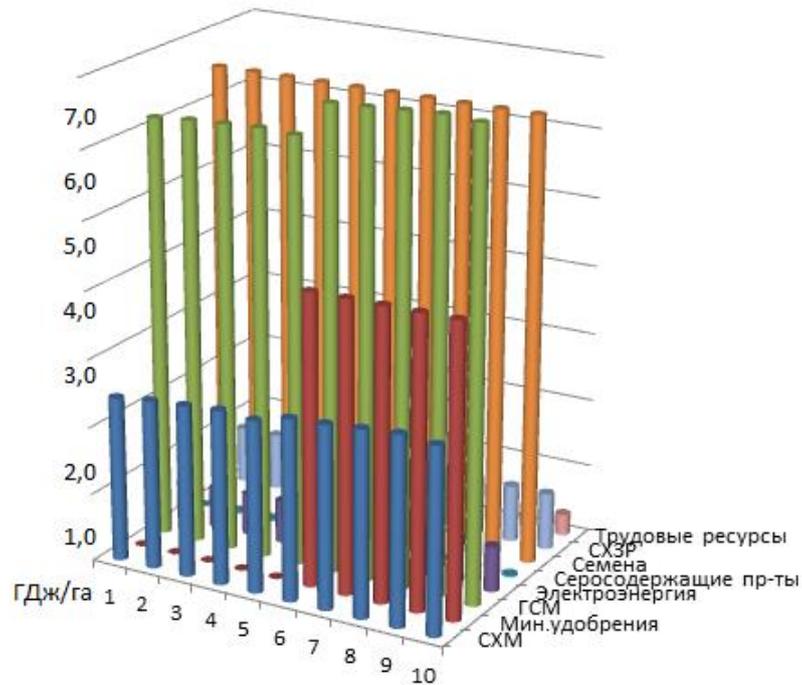


Рисунок 8 – Структура затрат энергии при возделывании яровой пшеницы в зависимости от применения в технологиях ее возделывания элементарной серы, серосодержащих соединений и минерального удобрения (1 – 10) – варианты опыта.

Её анализ показал, что наибольший удельный вес заняли: топливо – 28,6–32,1 %, минеральные удобрения – 20,0 % и семена – 29,0–34,2 %. Затраты на сельскохозяйственные машины и оборудование – от 12 до 16 %. Трудовые ресурсы и электроэнергия составили в сумме не более 3–4% от общих затрат энергии на возделывание культуры. Удельный вес издержек от применения элементарной серы, серосодержащих соединений не более 0,3 % от совокупности энергетических затрат.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. С 01.01.2005 по 01.01.2017 г. на территории Ульяновской области увеличилась доля почв с низким содержанием подвижной серы: в структуре пашни и пастбищ в 1,2 раза, залежи – 1,3 раза, сенокосов – 1,5 раза, многолетних насаждений – 1,9 раз, в целом по сельскохозяйственным угодьям – 1,2 раза. В связи с этим, сельскохозяйственным товаропроизводителям области в районах с низким содержанием в почвах подвижной серы необходимо предусмотреть применение серосодержащих удобрений.

2. Применение элементарной серы и серосодержащих соединений (сульфатов цинка, аммония, кальция) способствовало улучшению или поддержанию на прежнем уровне агрохимических показателей почвы. Несмотря на интенсивное потребление элементов питания растениями яровой пшеницы на протяжении всего вегетационного периода при использовании серосодержащих соединений (в большей степени на удобренном фоне) содержание элементов в пахотном слое поддерживалось на уровне: минерального азота >14,7 мг/кг, подвижного фосфора >143 мг/кг, обменного калия >145 мг/кг, подвижной серы >6,4 мг/кг. Содержание гумуса и обменная кислотность существенных изменений не претерпевали.

3. Использование серосодержащих соединений в технологии возделывания яровой пшеницы способствовало повышению её продуктивности. При использовании элементарной серы в чистом виде прибавка урожайности зерна составила 0,14 т/га (6 %), в случае сочетания с минеральным удобрением – 0,38 (16 %).

Опудривание семян яровой пшеницы сульфатами цинка, кальция увеличивало продуктивность культуры на 0,22–0,23 т/га (9 %) при отдельном применении и на 0,47–0,48 т/га (19–20 %) на фоне  $N_{40}P_{40}K_{40}$ . Обработка семенного материала сульфатом аммония обеспечила повышение урожайности зерна на 0,32 т/га (13 %). Более высокую продуктивность

наблюдали на варианте при использовании его на фоне минерального удобрения, которая составила 3,02 т/га (контроль 2,45 т/га).

5. Применение серосодержащих соединений способствовало увеличению выноса азота, фосфора, калия и серы основной и побочной продукцией яровой пшеницей. На фоне минерального удобрения вынос азота растениями увеличился в сравнении с контролем на 6,0–16,7 (10–29 %) кг/га, фосфора – 2,9–5,7 кг/га (15–30%), калия – 2,9–8,2 кг/га (10–30 %), серы – 1,7–3,2 кг/га (46–86 %). Более высокое потребление элементов питания отмечали при обработке посевного материала сульфатом аммония и внесении минерального удобрения.

6. При использовании серосодержащих соединений в чистом виде сложился напряженный баланс азота, фосфора, калия и серы в связи с большей урожайностью яровой пшеницы: по азоту от – 70,8 до – 60,3 кг/га, фосфору от – 24,5 до – 21,7 кг/га, калию от –37,9 до – 32,7 кг/га, сере от –15,6 до –13,0 кг/га. Совместное использование серосодержащих соединений с минеральным удобрением способствовало возмещению затрат элементов питания: по азоту на 52–58 %, фосфору –131–154 %, калию – 83–98 %, сере – 40–45 %. Наиболее высокое потребление элементов питания отмечали при обработке посевного материала сульфатом аммония с совместным внесением минерального удобрения.

7. Серосодержащие соединения позволили увеличить содержание белка и клейковины в зерне яровой пшеницы. При использовании элементарной серы, сульфатов цинка, аммония, кальция в чистом виде они составили 12,2–13,1 % и 24,2–27,6 %, на удобренном фоне –13,4–14,2 % и 26,2–29,7 % соответственно, на контроле – 11,9 % и 23,0 %.

8. При использовании элементарной серы и серосодержащих соединений в технологии возделывания яровой пшеницы содержание тяжелых металлов в зерне не превышало ПДК. При этом по цинку оно было ниже контроля на 0,6–1,6 мг/кг (2–5 %), меди – 0,1–0,2 мг/кг (3–5 %), по свинцу наблюдали превышение на 0,02–0,06 мг/кг (5–17 %). Накопление

кадмия и никеля в зерне находилось на уровне контроля. Аналогичную закономерность наблюдали при совместном применении серосодержащих соединений с минеральным удобрением.

9. В технологии возделывания яровой пшеницы наиболее экономически эффективна предпосевная обработка семян сульфатом аммония в дозе 1,5 кг/т. Данный агроприем обеспечил получение прибыли 11,3 тыс. руб./га (при реализационной стоимости зерна не ниже 8 тыс. руб./т) с уровнем рентабельности 104 %. Использование серосодержащих соединений совместно с внесением минеральных удобрений менее эффективно, однако дополнительное применение последних способствует поддержанию эффективного плодородия почвы на более высоком уровне.

10. Наиболее энергетически эффективными являлись технологии возделывания яровой пшеницы с проведением предпосевной обработки семян сульфатом аммония или сульфатом кальция (коэффициенты биоэнергетической эффективности – 2,64 и 2,57 соответственно). В структуре затрат энергии наибольший удельный вес занимали топливо – 28,6–32,1 %, минеральные удобрения – 20,0 % и семена – 29,0–34,2 %. Затраты на сельскохозяйственные машины и оборудование составили от 12 до 16 %. Трудовые ресурсы и электроэнергия находились на уровне 3–4 % от общих затрат энергии на возделывание культуры. Доля затрат при использовании серосодержащих соединений не превышало 0,3 % от совокупности энергетических затрат.

## **ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ**

1. Для оптимизации минерального питания яровой пшеницы и более полной оценки актуального плодородия почвы необходим постоянный мониторинг содержания доступных форм не только азота, фосфора, калия, но и серы.

2. При возделывании яровой пшеницы на черноземе выщелоченном в условиях лесостепи Поволжья с содержанием подвижной серы менее 7 мг/кг в целях повышения урожайности, содержания белка и клейковины в зерне рекомендуется проведение предпосевной обработки семян сульфатами цинка или аммония в дозе 1,5 кг/т.

### Список цитируемой литературы

1. Абрамов, А.И. Динамика обеспеченности пахотных угодий Нижегородской области подвижным фосфором / А.И. Абрамов, Е.А. Крымова // Достижения науки и техники АПК. – 2014. №4. С. 10–12.
2. Авдонин Н.С. Научные основы применения удобрений. –М.: Колос, 1972. – 348 с.
3. Агаев, В.А. Агроэкологические факторы накопления нитратов растениями / В.А. Агаев, В.М. Семенов, Соколов О.А. // Агрохимия. – 1989. – № 8. – С. 124–137.
4. Агафонов, Е.В. Влияние удобрений на урожай яровой пшеницы на мицеллярно–карбонатном черноземе Ростовской области / Е.В. Агафонов, Л.Н. Агафонова // Агрохимия. – 1986. – С. 30–35.
5. Агеев, В.В. Проблемы серы в современном южно–российском земледелии / В.В.Агеев, О.Ю. Лобанкова, Л.В.Серая // В сборнике: Энтузиасты аграрной науки. Сборник статей по материалам Международной научно–практической конференции, посвященной 95–летию кафедры агрономической химии Кубанского государственного аграрного университета и памяти академика Василия Григорьевича Минеева. – 2017. – С. 184–191.
6. Айдинян, Р.Х. Некорневое питание и его влияние на поступление поглощенных ионов в чайный куст / Р.Х. Айдинян // Тр. Всес. конф. по применению изотопов и ядерных излучений. – М. – 1958.
7. Айдинян, Р.Х. Содержание и формы соединений серы в различных почвах СССР и её значение в обмене веществ между почвой и растением / Р.Х. Айдинян // Агрохимия. – 1964. – № 10. – С. 3–16.
8. 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 3–5.

9. Анисимов, А.А. Влияние сульфата аммония на передвижение ассимилянтов у картофеля / А.А. Анисимов, Е.А. Конькова, Е.К. Фузина // *Агрохимия*. – 1964. – № 6. – С 104–111.
10. Аристархов, А.Н. Оптимизация питания растения растений и применение удобрений в агроэкосистемах / А.Н. Аристархов. – М., 2000. – 524 с.
11. Аристархов, А.Н. *Агрохимия серы* / А.Н. Аристархов. – М., 2007. – 272 с.
12. Аристархов, А.Н. Действие микроудобрений на урожайность, сбор белка, качество продукции зерновых и зернобобовых культур / А.Н. Аристархов, В. П. Толстоусов, А. Ф. Харитонов [и др.] // *Агрохимия*. – 2010 – № 9 – С. 36–49.
13. Аштаб, И.В. Взаимодействие цинка с другими элементами как показатель его экологической активности / И.В. Аштаб // *Агрохимия*. – 1994. – №11. – С. 114–120.
14. Аристархов, А. Сера в агроэкосистемах России: мониторинг содержание в почвах и эффективность их применения / А. Аристархов // *Международный сельскохозяйственный журнал*. – 2016. – № 5. – С. 39–47.
15. Базаров, Е.И. Методика биоэнергетической оценки технологий производства продукции растениеводства / Е.И. Базаров, Е.В. Глинка. – М. – 1983. – 31 с.
16. Башков, А.С. Фосфатное состояние дерново–подзолистых почв Удмуртии и проблема фосфорного питания сельскохозяйственных культур / А.С. Башков, Т.Ю. Бортник, А.Ю. Карпова, А.Н. Исупов, М.Н. Загребина, О.А. Страдина // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2017. – № 1 (50). – С. 11–20.
17. Бюллетень Географической сети опытов с удобрениями. Выпуск 14. Влияние дождевых осадков на загрязнение сельскохозяйственных угодий (по данным локального мониторинга). – М.: ВНИИА. – 2013. – 30 с.
18. Бетехтин, А.Г. *Курс минералогии* / А.Г. Бетехтин. М. – 1956.

19. Бобренко, И.А. Эффективность разных приемов применения цинковых удобрений под яровую пшеницу в условиях Западной Сибири / И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, Н.В.Шувалова // Омский научный вестник. – 2012. – № 1 (108). – С. 142–145.

20. Бобренко, И.А. Биоэнергетическая эффективность применения удобрений под озимую тритикале на лугово–черноземной почве Западной Сибири / И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, Е.Ю. Павлова // Омский научный вестник. – 2013. – № 1 (118). – С. 170–173.

21. Бобренко, И.А. Биоэнергетическая эффективность опудривания семян микроэлементами (Zn, Cu, Mn) при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири / И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, Е.А. Вакалова // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – № 1 (21). – С. 70–76.

22. Бобрицкая, М.А. Изучение зольного состава трав в связи с почвообразованием в дерново–подзолистой зоне / М.А. Бобрицкая // Почвоведение. – 1955. – № 1.

23. Бреслер, С.Е. Введение в молекулярную биологию / С.Е. Бреслер. – М. – Л., 1963.

24. Бурунов, А.Н. Эффективность применения микроэлементного удобрения «Мегамикс» на яровой пшенице/ А.Н. Бурунов // Нива Поволжья. – 2011. – №1(18). – С. 9–12.

25. Вакар, А.Б. Физико–химические и биохимические факторы качества клейковины / А.Б. Вакар // автореферат дис. ... доктора биологических наук / Институт биохимии имени А.Н. Баха Академии Наук СССР. Москва, 1968.

26. 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.

27. Вальников, И.У. Формы серы в почвах Среднего Поволжья / И.У. Вальников // Агрохимия. – 1974. – № 12. – С. 112–118.

28. Вальников, И.У. Баланс серы в земледелии Среднего Поволжья / И.У. Вальников // *Агрохимия*. – 1981. – № 1. – С. 50–57.

29. Васин, Д.В. содержание тяжелых металлов в почвах разных агроклиматических зон Ульяновской области. Сравнительная характеристика распределения тяжелых металлов в почвах ульяновской области и в соседних регионах (на примере Самарской области) / Д.В. Васин // *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. – № 1.; URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=8332> (дата обращения: 19.03.2018).

30. Вильдфлуш, И.Р. *Агрохимия: учебник* / И.Р. Вильдфлуш, С.П. Кукреш, В.А. Ионас и др. – 2-е изд., доп. и перераб. – Мн.: Ураджай, 2001. – 488 с., ил.

31. Возбуцкая, А.Е. *Химия почв* / А.Е. Возбуцкая. – М.: Высш. Шк.. 1964. – 426 с.

32. Волков, А.В. *Эффективность применения различных способов, форм и доз цинковых удобрений под яровую пшеницу на дерново-подзолистых почвах: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: 06.01.04 / Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова РАСХН; Д.И. Волков – Москва, 2015. – 122 с.*

33. Ворд, Р. *Серя в No-TILL* / Р. Ворд // *Зерно*. – 2009. – № 1(33).

34. Воронков, Д.И. *Эффективность допосевного внесения порошковидных форм элементарной серы и аммиачной селитры при возделывании яровой пшеницы и ячменя на южных черноземах центральной зоны Оренбургской области: автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.04 / Оренбург. гос. аграр. ун-т; Д.И. Воронков – Оренбург, 2008. – 17 с.*

35. Воропаев, В.Н. *О многолетней динамике содержания серы в чернозёме выщелоченном и перспективах применения серосодержащих удобрений* / В.Н. Воропаев, Р.В. Щучка, Б.А. Сотников, М.Ю. Глотова,

В.А. Дятлова, П.Е. Горбенко // Экология ЦЧО РФ. – 2014. – № 1–2. – С. 32–33.

36. Гайфуллин, Р.Р. Качество зерна пшеницы при некорневой подкормке серносодержащим препаратом и мочевиной / Р.Р. Гайфуллин // Вестник БГАУ. – 2010 г. – №4. – С.3–6.

37. Гайсин, И.А. Применение серосодержащих удобрений в полевом севообороте в условиях серой лесной почвы / И.А. Гайсин, М.Ю. Гилязов, А.С. Билалова, Ф.Ш. Фасхутдинов, И.Р. Сулеманов // Агрехимический вестник. – 2009. – № 5. – С. 3–5.

38. Галиакберов, А.Г. Адаптивно–ландшафтная система земледелия Ульяновской области: учебное пособие / А.Г.Галиакберов, К.И. Карпович, А.Х. Куликова, В.И. Морозов, С.Н. Немцев, Захаров, С.Н. Никитин, М.М. Сабитов, Р.В. Науметов, А.И. Кузина Е.В., В.Г. Захаров, В.Г. Власов, С.Н. Федорычев, И.Ф. Тимергалиев, Р.А. Хакимов, С.А. Никифорова, Г.В.Сайдяшева, Р.Б. Шарипова, С.В. Карпенко, Г.В. Колсанов, А.В. Чепухин, А.И. Золотов, Е.А. Черкасов, Б.К. Саматов, Р.И. Махмутов, Т.В. Нарышкина, Н.С. Дубова, С.В. Стрельцов, В.А. Кольцов. – Ульяновск. – 2013. – 355 с.

39. Гибадуллина, Х.В. Химические аспекты трансформации серы в почве / Х.В. Гибадуллина, И.Г. Хабибуллин, З.М. Халиуллина, Р.Р. Ахметзянов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2009. Т.4. – №3 (13). – С. 97–99.

40. Глызина, Л.А. Повышение эффективности сельскохозяйственного производства Иркутской области / Д.А. Глызина, А.В. Щербаков; Иркут. гос. с.–х. акад. – Иркутск: ИрГСХА, 2006. – 90 с.

41. Григорьев, К.В. Энергетическая оценка возделывания донника желтого под покровом ранних яровых зерновых и поздних кормовых культур / К.В. Григорьев, Л.Г. Шашкаров // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. – 2017. – № 19. – С. 61–64.

42. Гриценко, О.Н. Экономическая эффективность внедрения энергосберегающих технологий возделывания зерновых культур на примере ОАО «Восход» Заларинского района / Гриценко О.Н. // *Baikal Research Journal*. – 2010. – № 6. – С. 61.

43. Голов, В.И. Антагонизм серы и молибдена в растениях сои и возможности их совместного применения в качестве удобрений / В.И. Голов // Научно–технический бюллетень Всероссийского научно–исследовательского института масличных культур. – 2012. – Вып. 2. – С. 151–157.

44. Головоченко, А.П. Особенности адаптивной селекции яровой мягкой пшеницы в лесостепной зоне Среднего Поволжья (монография) / А.П. Головоченко. – Кинель, 2001. – 380 с.

45. Гомонова Н.Ф. Микроорганизмы как показатели состояния агроэкосистем при длительном применении комплекса удобрений и в их последствии / Н.Ф. Гомонова // *Экологическая агрохимия*. – М.: Изд–во. МГУ, 2008.–С. 140–152.

46. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации на 29 января 2018 года. Часть 1. Пестициды. – М.: Минсельхоз России, 2018. – 960 с.

47. Губенко, В.А. Влияние многолетнего применения удобрений на запасы и формы минеральных фосфатов в черноземной почве / В.А. Губенко // *Агрохимия*. – 1972. – № 6. – С. 37–40.

48. Державин, Л.М. Методические указания по применению удобрений, содержащих серу / Л.М. Державин, Ж.С. Рафаелян, П.А. Баранов, М.П. Школь и др. // Методические указания по применению удобрений, содержащих серу. – М., 1983. – С. 3–10.

49. Державин, Л.М. Методология проектирования применения удобрений и других средств химизации в ресурсосберегающих

агротехнологиях при модернизации земледелия / Л.М. Державин // *Агрохимия*. – 2013. – № 8. – С. 18–29.

50. Джанаев, Г.Г. Динамика потребления питательных веществ растениями, продуктивность звена севооборота и баланс основных элементов питания в зависимости от удобрения. Сообщение 3 / Г.Г. Джанаев, С.Х. Дзанагов, В.С. Гизоев // *Агрохимия*. – 1979. – №7. – С. 50–56.

51. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований: учебник / Б.А. Доспехов. – М.: ИД Альянс. – 2011. – 352 с.

52. Дурынина Е.П. Агрохимический анализ почв, растений, удобрений / Е.П. Дурынина, В.С. Егоров. – Москва, МГУ. – 1998. – 113 с.

53. Егорова, О.В. Эффективность возделывания новой кормовой культуры фестулолиума в травосмесях / О.В. Егорова, Г.В. Григорьева // В сборнике: Государственное регулирование АПК России в условиях вступления во Всемирную торговую организацию материалы Международной научно-практической конференции. – 2013. – С. 363–368.

54. Елькина, Г.Я. Сера в питании растений на подзолистых почвах / Г.Я. Елькина // *Аграрный вестник Урала*. – 2010. – № 12. – С.8–10.

55. Ермохин, Ю.И. Почвенно–растительная оперативная диагностика «ПРОД–ОмСХИ» минерального питания, эффективности удобрений, величины и качества урожая сельскохозяйственных культур. Омск: Изд–во ОмГАУ, 1995. – 208 с.

56. Завалин, А.А. Новая форма азотного удобрения под яровую пшеницу / А.А. Завалин, С.А. Шафран, Л.С. Чернова, Л.Н. Дубровских // *Плодородие*. – 2009. – № 1. – С.19–20.

57. Захаров, В.Г. Методологические аспекты селекции яровой мягкой пшеницы в Среднем Поволжье: диссертация ... доктора сельскохозяйственных наук: 06.01.05 / Захаров Владимир Григорьевич; [Место защиты: Пенз. гос. с.–х. акад.]. – Пенза, 2014. – 303 с.

58. Захаров, В.Г. Сорта сельскохозяйственных культур / В.Г. Захаров, О.Д. Яковлева, О.Г. Мишенькина, М.С. Шакирзянова, Н.С. Дубова, Л.И. Тимиркина // Пути повышения эффективности возделывания сельскохозяйственных культур в Ульяновской области: научно–практическое руководство / под ред. А.И. Захарова. – Ульяновск, 2016. – 127 с.

59. Зеленев, А.В. Экономическая эффективность возделывания зерновых культур в биологизированных севооборотах в Нижнем Поволжье / Зеленев А.В., Зеленева И.П., Семинченко Е.В. // Научно–агрономический журнал. – 2017. – Т. 1. – № 1–1 (100). – С. 6–9.

60. Зиадин, Сами Дия. Биоэнергетическая оценка возделывания яровой пшеницы в условиях Иордании / Сами Дия Зиадин, В.И. Тагасов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2009. – № 1. – С. 26–29.

61. Зяблов, Е.С. Экономическая эффективность применения удобрений при производстве зерна / Е.С. Зяблов // Сибирский журнал науки и технологий. – 2006. – № 4 (11). – С. 83–86.

62. Ивойлов, А.В. Методика и методология научных исследований: теория и практика / А.В. Ивойлов // Саранск: Изд–во Мордов. ун–та, 2013. – 352 с.

63. 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 государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 1 (33). – С. 25–32.

64. Кабата–Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата–Пендиас, Х. Пендиас. – Издательство: Мир, 1989 г. – 440 с.

65. Казаков, Е.Д. О Теоретических основах образования клейковины / Е.Д. Казаков // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1992. – № 5–6. – С. 5–7.

66. Карпович, К.И. Агроклиматические показатели Ульяновской области / К.И. Карпович, Р.Б. Шарипова, М.М. Сабитов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 3. – С. 9–13.

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

68. Карманенко, Н.М. Зимостойкость растений, метеоусловия и минеральное питание / Н.М. Карманенко // Агрехимия. – 1986. – №5. – С. 108–115.

69. Карпов, А.В. Сравнительная оценка плодородия чернозема выщелоченного Ульяновской области / А.В. Карпов, Н.К. Аюгова // Вестник УГСХА. – 2010. – №2 (12). – 12–18.

70. Карпов А.В. Сохраним наши почвы / А.В. Карпов // В сборнике: Фундаментальные и прикладные основы сохранения плодородия почвы и получения экологически безопасной продукции растениеводства материалы Всероссийской научно–практической конференции с Международным участием. – 2017. – С. 48–52.

71. Кириллова, Е.В. Эффективность применения минеральных удобрений в севообороте и на бессменной пшенице в центральной лесостепи Зауралья / Е.В.Кириллова, А.Н. Копылов // Аграрный вестник Урала. – 2015. – № 4 (134). – С. 33–39.

72. Кондратенко, Е.П. Накопление белка и клейковины в зерне раннеспелых и среднеранних сортов яровой пшеницы на серых лесных почвах / Е.П. Кондратенко, Е.А. Егушова, А.А. Косолапова, И.А. Сергеева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3 (137). – С. 17–22.

73. Кореньков, Д.А. Продуктивное использование минеральных удобрений / Д.А. Кореньков. – М.: Россельхозиздат, 1985. – 219 с.

74. Корчагина, И.А. Экономическая оценка сортов яровой пшеницы в южной лесостепи Западной Сибири / И.А. Корчагина, Л.В. Юшкевич, В.Д. Кожевин // В книге: Аграрная наука – сельскому хозяйству сборник статей XII Международной научно–практической конференции : в 3 кн.. ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет». – 2017. – С. 209–211.
75. Кравченко, В.Н. Действие серы и азота на урожайность проса / Кравченко В.Н., Тукабаева А.И. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2011. – Т. 1. – № 29–1. – С. 44–46.
76. Кретович, В.Л. Биохимия зерна и хлеба / В.Л. Кретович. – М.: Наука, 1991. – 136 с.
77. Кречетов, П.П. Ускоренный метод определения общей кислотности почв / Кречетов П.П., Дианова Т.М. // Агрохимия. – 2008. – № 9. – С. 75–81.
78. Крупский, Н.К. Влияние серы на урожай гороха / Н.К. Крупский, В.Е. Гончаренко // Химия в с. х. – 1967. – № 9.
79. Куликова, А.Х. Баланс элементов питания в черноземе выщелоченном при возделывании яровой пшеницы в условиях Среднего Поволжья/ А.Х. Куликова, С.Н. Никитин, Г.В. Сайдышева // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. – 2012. – Т. 1. – С. 20–25.
80. Кудеяров, В.Н. Диагностика азотного режима почв / В.Н. Кудеяров, В.Н. Башкин // Агрохимия. – 1981. – № 3. – С. 133–144.
81. Куркаев, В.Т., Учебник Агрохимия / В.Т. Куркаев, А.К. Шеуджен. – Майкоп, ГУРИПП Адыгея, 2000. – 552 с.
82. Кэмпфер, М. Проблема серы в круговороте веществ и земледелии / М. Кэмпфер, Е. Цеглер. – М. – 1969.
83. Лавриненко, Т.Т. Сера в питании культурных растений / Т.Т. Лавриненко // Сел. хоз–во за рубежом (Растениеводство). – 1968. – № 8. – С. 13–15.

84. Лапа, В.В. Применение сульфата аммония в сельском хозяйстве / В.В. Лапа, В.Н. Босак. – Тольятти, 2006. – 22 с.

85. Левшаков, Л.В. Эффективность применения серосодержащих удобрений при возделывании яровой пшеницы на зональных почвах Курской области / Л.В. Левшаков, А.В.Чевычелов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 1. – С. 53–58.

86. Лисовал, А.П. Влияние органических и минеральных удобрений на превращение соединений серы в растениях озимой пшеницы, урожай зерна и его качество / А.П. Лисовал, Н.Г. Жмурко // Агрохимия. – 1975. – № 12. – С. 65–69.

87. Лойко, В.И. Актуальные вопросы экономической и биоэнергетической оценки технологических процессов в растениеводстве методами математического моделирования / В.И. Лойко, В.В. Ткаченко // В сборнике: Экономико–правовые аспекты реализации стратегии модернизации России: поиск модели эффективного социохозяйственного развития. Сборник статей международной научно–практической конференции. Под редакцией Г.Б. Клейнера, Э.В. Соболева, В.В. Сорокожердьева, З.М. Хашевой. – 2015. – С. 151–155.

88. Лукин, С.В. Динамика содержания подвижной серы в почвах Белгородской области / С.В. Лукин, С.В. Меленцова, П.М. Авраменко // Достижения науки и техники АПК. – 2006. – № 2. – С. 21–22.

89. Макаренко, Л.Н. Интенсификация применения минеральных удобрений / Л.Н. Макаренко // Обзорная информация. – М.: ВНИИТЭСХ, 1987. – 48 с.

90. Мамченков, И.П. О значении удобрений в повышении качества зерна пшеницы / И.П. Мамченков, Г.В. Платонов // Агрохимия. – 1971. – № 7. – С. 60–65.

91. Марфенина, О.Е. Микробиологические аспекты охраны почв / О.Е. Марфенина. – М.: Изд–во МГУ, 1991. – 118 с.

92. Маслова, И.Я. Диагностика и регуляция питания яровой пшеницы серой / И.Я. Маслова. – Новосибирск.: В.О. «Наука». Сибирская издательская фирма, 1993. – 124 с.
93. Маслова, И.Я. Особенности пополнения фонда доступной растениям серы в почвах с разной консервативностью гумуса / И.Я. Маслова, Т.Г. Якушева, И.Н. Шарков // *Агрохимия*, 2008. – № 3. – С. 5–14.
94. Маслова, И.Я. Воздействие содержащих серу аэротехнических веществ на некоторые агрохимически значимые процессы и свойства почв / И.Я. Маслова // *Агрохимия*. – 2008. – № 6. – С. 80–94.
95. Маслова, И. Влияние серы на усвоение яровой пшеницей азота, фосфора и калия / И. Маслова // *Главный агроном*. – 2016. – №1. – С.13–17.
96. Маслова, И.Я. Сортвые особенности накопления и распределения серы в надземной биомассе растений яровой мягкой пшеницы / И.Я. Маслова, Т.Г. Якушева // *Агрохимия*, 2017. – № 12. – С. 21–26.
97. Миккельсен, Р. Сера в почвах и серосодержащие удобрения / Р. Миккельсен, Р. Нортон, // *Питание растений*. – 2014. – №3. – С.6–9.
98. Минакова, О.А. Изменение азотного режима чернозема выщелоченного и баланса азота в зерносвекловичном севообороте при длительном применении удобрений / Минакова О.А., Тамбовцева Л.В.// *Российская сельскохозяйственная наука*. – 2016. – № 2–3. – С. 40–43.
99. Медведев, Ж.А. Ассимиляция растениями сернистого ангидрида из воздуха / Ж.А. Медведев, Е.А. Федоров // *Природа*. – 1956. – № 11.
100. Методические указания по определению баланса питательных веществ: азота, фосфора, калия, гумуса, кальция. – М.: Изд-во ЦИНАО, 1999. – 40 с.
101. Мязин, Н.Г. Система удобрения: учебное пособие / Н.Г. Мязин. – Воронеж: ФГОУ ВПО ВГАУ, 2009. – 350 с.
102. Назаров, Ю.И. Методы определения потребности яровой пшеницы в удобрениях / Ю.И. Назаров // *Агрохимия*. – № 2. – 1972. – С. 156–158.

103. Настина, Ю.Р. Влияние предпосевной обработки семян микроэлементами на качество зерна яровой пшеницы / Ю.Р.Настина, В.И.Костин, А.А.Настин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 4 (36). – С. 39–43.

104. Никитин, С.Н. Эффективность применения удобрений, биопрепаратов и диатомита в лесостепи Среднего Поволжья: диссертация ... доктора сельскохозяйственных наук: 06.01.04 / Никитин Сергей Николаевич; [Место защиты: Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева [http://www.mrsu.ru/ru/diss/diss.php?ELEMENT\\_ID=32494](http://www.mrsu.ru/ru/diss/diss.php?ELEMENT_ID=32494)]. – Саранск, 2015. – 419 с.

105. Никитин, С.Н. Влияние удобрений на урожайность и биоэнергетическую эффективность технологий возделывания сельскохозяйственных культур в севообороте / С.Н. Никитин, А.Х. Куликова, А.В. Карпов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 4 (32). – С. 45–51.

106. Никитишен, В.И. Эффективность удобрений и баланс питательных веществ в полевых севооборотах на серой лесной почве / В.И. Никитишен, Г.И. Неретин, И.А. Никитишена, Л.М. Терехова, Н.И. Шабнова // Агрохимия. – 1981. – № 3. – С. 23–33.

107. Никитишен, В.И. Круговорот и баланс серы в земледелии / В.И. Никитишен, Л.К. Дмитрикова // Агрохимия. – 1983. – № 9. – С. 113–123.

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

109. Никитишен, В.И. Роль серы и микроэлементов в питании кукурузы, выращиваемой на серой лесной почве в условиях последействия макроудобрений / В.И. Никитишен, В.И. Личко, В.Е. Остроумов // Агрохимия. – 2013. – № 6. – С. 12–17.

110. Новосёлов, С.И. Эффективность минеральных удобрений в севооборотах с различными видами паров / С.И. Новоселов, Н.И. Толмачев,

А.В. Иванова // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2015. –Т. 1. – № 1. – С. 19–23.

111. Новосёлов, 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 // Агрехимия. – 2016. – № 6. – С. 16-19.

112. Нортон, Р. Значение серы в питании растений / Р. Нортон, Р. Миккельсен, Т. Дженсен // Питание растений. – 2014. – №3. – С. 2–5.

113. 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.

114. Оленин, О.А. Комплексная эффективность биологизации технологии возделывания яровой пшеницы / О.А. Оленин, Ф.А. Попов, Е.Н. Носкова //Научно–практический журнал Пермский аграрный вестник. – 2016. – № 1 (13). – С. 22–29.

115. Онищенко, Л.М. Обеспеченность чернозема выщелоченного подвижными формами азота, фосфора и калия в зависимости от норм минеральных удобрений вносимых под сою / Л.М. Онищенко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2007. – № 32. – С. 105–118.

116. Панасин, В.И. Сера в земледелии Калининградской области / В.И.Панасин, С.И.Новикова, Д.А.Рымаренко // Плодородие. – 2016. – № 3 (90). – С. 6–8.

117. Панасин, В.И. Сера и урожай / В.И. Панасин, В.Д. Слобожанинова, Н.В. Лопатина // Калининград: Изд–во «КГТ», 1990. – 150 с.

118. Патрина, М.С. Роль серосодержащих удобрений в оптимизации минерального питания серой лесной и дерново–подзолистой почвах

Красноярской Подтайги / М.С. Патрина // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 10. – С. 40–45.

119. Павлов, А.Н. Повышение содержания белка в зерне / А.Н. Павлов. – М.: Из-во Наука, 1984. – 120 с.

120. Панников, В.Д. Почва, климат, удобрение и урожай / В.Д. Панников, В.Г. Минеев. – М.: Колос, 1977. – 416 с.

121. Пилипенко, Н.Г. Баланс азота, фосфора и калия на лугово-черноземных почвах Забайкалья в кормовом севообороте / Н.Г. Пилипенко, О.Т. Андреева // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2014. – № 4. – С. 31–36.

122. Плешков, Б.П. Биохимия сельскохозяйственных растений / Б.П. Плешков. М.: Колос, 1965. – 417 с.

123. Пейве, Я.В. Биохимия почв / Я.В. Пейве. – М.: Сельхозгид, 1961. – 422 с.

124. Переведенцев, Ю.П. Изменение основных климатических показателей на территории ульяновской области / Ю.П. Переведенцев, Р.Б. Шарипова / Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. – 2012. – № 6–1. – С. 136–144.

125. Переведенцев, Ю.П. Агроклиматические ресурсы Ульяновской области и их влияние на урожайность зерновых культур / Ю.П. Переведенцев, Р.Б. Шарипова, Н.А. Важнова // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. – 2012. – № 6–2. С. – 120–126.

126. Петербургский, А.В. Агрохимия и физиология питания растений / А.В. Петербургский. – М., 1971. – 335 с.

127. Плодородие черноземов России / под ред. Н.З. Милащенко. – М.: Агроконсалт, 1998. – 688 с.

128. Полтораднев, М.С. Агрономический эффект от применения нового минерального удобрения, содержащего азот и серу, при возделывании яровой пшеницы / М.С. Полтораднев, Т.В. Гребенникова, Хисамутдинов Н.Ш. // Питание растений. – 2014. – №3. – С. 10–12.

129. Прянишников, Д.Н. Агрохимия / Д.Н. Прянишников. – М.: 1952. – 735 с.
130. Пугаев, С.В. Содержание тяжелых металлов в зерне озимой и яровой пшеницы, произрастающей в разных экологических условиях / С.В. Пугаев // Вестник Мордовского университета. – 2013. – № 3–4. – С. 89–93.
131. Рядчиков, В.Г. Улучшение зерновых беков и их оценка / В.Г. Рядчиков. – М.: Колос, 1978. – 368 с.
132. Сабитов, М.М. Почвенный покров Ульяновской области и воспроизводство почвенного плодородия / М.М.Сабитов, А.И.Захаров // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 2. – № 4. – С. 180–184.
133. Сандакова, Г.Н. Параметры моделей погодных факторов для формирования урожая яровой сильной пшеницы в условиях степной зоны Оренбургской области / Г.Н. Сандакова, В.И. Елисеев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 2 (64). – С. 16–19.
134. Самотоенко, А.С. Влияние микроэлементов и серы на урожайность и качество озимой пшеницы в условиях типичного и обыкновенного черноземов Воронежской области: автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.04 / ГНУ Воронежский НИИСХ им. В.В. Докучаева; А.С. Самотоенко. – Москва, 2011. 27 с.
135. Сискевич, Ю.И. Мониторинг содержания серы в пахотных почвах Липецкой области / Ю.И. Сискевич // Агрохимический вестник. – 2007. – № 3. – С. 6–9.
136. Слуцкая, Л.Д. Сера как удобрение / Л.Д. Слуцкая // Агрохимия. – 1972. – № 1. – С. 130–143.
137. Слюсарев, В.Н. Свойства чернозема выщелоченного и его обеспеченность сульфатами при различных технологиях выращивания озимой пшеницы / В.Н. Слюсарев // Агроэкологические проблемы в сельском хозяйстве: сборник научных трудов. – Воронеж, ГАУ. – 2005. – Ч. 2. – С. 107–111.

138. Слюсарев, В.Н. Свойства чернозема выщелоченного Западного Предкавказья и обеспеченность его серой / В.Н. Слюсарев // Труды Кубанского госагроуниверситета. – 2006. – № 2. – С. 157–166.

139. Слюсарев, В.Н. Сера в почвах Северо–западного Кавказа (агроэкологические аспекты): монография.– Краснодар: КубГАУ, 2007 . – 230с.

140. Смирнов, Ю.А. Повышение урожаев и качества сельскохозяйственной продукции при использовании серных удобрений: Обзор МС Агрохим. – М.: ВНИИГЭСХ, 1985. – 60 с.

141. Соляник, Г.М. Почвы Краснодарского края / Г.М. Соляник: Учеб. пособие. Краснодар: Куб. гос. ун–т, 2004 с. – 70 с.

142. Степных, Н.В. Экономическая эффективность технологий выращивания сельскохозяйственных культур / Н.В. Степных // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2013. – № 6. – С. 32–37.

143. Сухова, О.В. Содержание подвижной серы в почвах Волгоградской области / О.В.Сухова, В.В. Болдырев, А.В. Акулов, А.Н. Водолазко, А.А.Шошин // В сборнике: Прогноз состояния и научное обеспечение плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения материалы XI Международного симпозиума НП «Содружество ученых агрохимиков и агроэкологов». – 2017. – С. 190–195.

144. Сырчина, Н.В. Применение молотой серы в качестве удобрения / Н.В.Сырчина, Н.А. Соловьева, А.С.Кожевникова // В сборнике: Биодиагностика состояния природных и природно–техногенных систем материалы XV Всероссийской научно–практической конференции с международным участием. Ответственный редактор Т. Я. Ашихмина; Вятский государственный университет, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. – 2017. – С. 148–151.

145. Сырый, Н.М. Действие серосодержащих удобрений на урожай и качество с.-х. культур на черноземах мощных. Автореф. канд. дис. Харьков, 1970.

146. Таврыкина, О.М. Диапазон оптимального уровня содержания обменного магния в дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах и эффективность серосодержащих удобрений при возделывании кукурузы / О.М. Таврыкина, И.М. Богдевич, Ю.В. Путятин, В.А. Довнар, Е.С. Третьяков // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 1 (52). – С. 268–278.

147. Танделов, Ю.П. Влияние серосодержащих удобрений на урожай яровой пшеницы и рапса в Средней Сибири / Ю.П. Танделов, М.С. Быстрова // Вестник КрасГАУ.– 2007. – № 3. – С. 78–84.

148. Танин, К.Е. Баланс хлора, серы и калия в многолетнем опыте с формами калийных удобрений / Е.К. Танин // Агрохимия. – 1965. – № 12. – С. 43–50.

149. Томпсон, Л.М. Почвы и их плодородие / Л.М. Томпсон, Ф.Р. Троу. – М.: Колос, 1982. – 462 с.

150. Торчинский, Ю.М. О роли SH-групп в образовании каталитически активной структуры ферментов и в механизме их действия. Успехи соврем. биологии. – 1961. – Т. 51. – Вып 3.

151. Тишков, Н.М. Применение серосодержащих удобрений под масленичные культуры на черноземах выщелоченных / Н.М. Тишков, А.А. Дряхлов, В.Н. Слюсарев // Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2014. – Вып. 2. – С. 159–160.

152. Тихова, Е.П. О мобилизации сульфатов в черноземах / Е.П. Тихова // Агрохимия.– 1966. – № 6.

153. Титова, Э.В. Почва, растение, удобрение / Э.В. Титова. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. – 172 с.

154. Томасон, В.Е. Улучшение хлебопекарных качеств озимой пшеницы за счет применения азотных и серосодержащих удобрений

в условиях влажного климата / В.Е. Томасон, С.А. Гриффей, С.Б. Филлипс // Питание растений. – 2014. – №3. – С. 13–15.

155. Убугунов, Л.Л. Содержание фосфатов в агроземе каштановом Северной Монголии / Л.Л. Убугунов, Б. Энхтуяа, Ц.Д. Мангатаев // Проблемы агрохимии и экологии. – 2012. – № 4. – С. 18–21.

156. Хоменко, А.Д. Серное питание и продуктивность растений / А.Д. Хоменко. – Киев: Наук. думка, 1983. – С. 5–29.

157. Целковский, Г.А. Влияние элементарной серы на химический состав растений и урожайность сои на бурых лесных почвах // Условия произрастания и урожай сои. – Новосибирск, 1978. – С. 41–46.

158. Церлинг, В.В. Диагностика обеспеченности серой злаковых, бобовых и крестоцветных культур / В.В. Церлинг, А.А. Ерофеев // Агрохимия. – 1973. – № 7. – С. 127–133.

159. Церлинг, В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур. – М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.

160. Чекмарев, П.А. Фосфатный режим черноземов / П.А.Чекмарев, С.В. Лукин, Н.П. Юмашев // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2010. – № 6. – С. 28–30.

161. Чекмарев, П.А. Фосфор в земледелии Центрально–Черноземного района / П.А. Чекмарев, С.В. Лукин, Ю.И. Сискевич, Н.П. Юмашев, А.Н. Хижняков //Достижения науки и техники АПК. – 2011. – №5. – С. 21–23.

162. Чекмарев, П.А. Мониторинг калийного режима черноземов ЦЧР / П.А. Чекмарев, С.В. Лукин, Ю.И. Сискевич, Н.П. Юмашев, В.И. Корчагин, А.Н. Хижняков //Достижения науки и техники АПК. – 2011. – №8. – С. 3–6.

163. Чекмарев, П.А. Почвенные ресурсы Ульяновской области и их современное состояние / П.А. Чекмарев, Черкасов Е.А. // Материалы Всероссийской научно–практической конференции с Международным участием «Фундаментальные и прикладные основы сохранения плодородия почвы и получения экологически безопасной продукции растениеводства». – Ульяновск: ФГБОУ ВО Ульяновский ГА. – 2017. – 429 с.

164. Чемерис, М.С. Экологическая и биоэнергетическая эффективность применения нетрадиционных удобрений / М.С.Чемерис, И.А.Зубко // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 1, № 22–2. – С. 23–27.

165. Чемерис, М.С. Биоэнергетическая и эколого–экономическая оценка применения осадков сточных вод / М.С. Чемерис // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2. – С. 537.

166. Чепмен, Х. О критерии для диагностики условий питания цитрусовых. В кн.: «Анализ растений и проблемы удобрений». – М., 1964.

167. Черкасов, Е.А. Динамика кислотности пахотных почв ульяновской области / Е.А. Черкасов, Б.К. Саматов, А.В. Карпов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 3. – С. 31–34.

168. Черкасов, Е.А. Характеристика пахотных почв Ульяновской области по содержанию микроэлементов и эффективность применения микроэлементсодержащих препаратов / Е.А.Черкасов, В.А. Исайчев, Б.К.Саматов, С.Н.Никитин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 4. – С. 30–34.

169. Черкасов, Е.А. Меры по обеспечению сохранности озимых и яровых сельскохозяйственных культур / Е.А. Черкасов, Д.А. Лобачев, Б.К. Саматов // Пути повышения эффективности возделывания сельскохозяйственных культур в Ульяновской области: научно–практическое руководство / под ред. А.И. Захарова. – Ульяновск, 2016. – 127 с.

170. Черкасов, Е.А. Динамика изменения плодородия почв Ульяновской области за 1965–2015 гг. / Е.А.Черкасов, А.Х.Куликова, Лобачев Д.А. // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31. – № 4. – С. 10–17.

171. Шарипова, Р.Б. Уязвимость и адаптация сельского хозяйства Ульяновской области к изменяющемуся климату / Р.Б.Шарипова // Вестник

Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 3. – С. 52–58.

172. Шеуджен, А.Х. Валовое содержание серы и ее формы в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А.Х.Шеуджен, В.Н.Слюсарев, Т.Н.Бондарева, О.А.Гуторова, М.А.Осипов, С.В.Есипенко // Плодородие. – 2014. – № 4 (79). – С. 29–30.

173. 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.

174. Шугля, З.М. Влияние серосодержащих удобрений на урожай кормовой капусты / З.М. Шугля // Агрoхимия. – 1967. – № 9. – С. 28–32.

175. Щегольков, А.В. Продуктивность сои в зависимости от применения некорневых подкормок серным, борным и молибденовым удобрениями на черноземе выщелоченном / А.В.Щегольков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 106. – С. 212–224.

176. Фокин, А.Д. Миграция сульфатов и масштабы их накопления в почвах подзолистого типа / А.Д. Фокин, Н.В. Евдокимова, С.В. Гозный, Н.М. Грачева // Плодородие. – 1982. – № 10. – С. 27–35.

177. Фокин, А.Д. Миграция сульфатов и возможные уровни их накопления в почвах подзолистого типа / А.Д. Фомин, С.В. Гозный // Агрoхимия. – 1982. – № 5. – С. 72–77.

178. Фомин, П.И. Влияние сульфата кальция на агрохимические свойства почвы и поступление серы и молибдена в растения / П.И. Фомин, О.Г. Фомина // Агрoхимия. – 1976. – № 9. – С. 107–111.

179. Фомина, О.Г. О соотношении корневого и листового питания растений серой / О.Г. Фомина, П.И. Фомин // Агрoхимия. – 1977. – № 1. – С. 107–112.

180. Фомина, О.Г. Серное питание растений на дерново–подзолистой почве Подмосковья: диссертация ... кандидата биологических наук: 06.01.04. – Москва, 1981. – 210 с.: ил.

181. Фирсов, С.С. Динамика агрохимических свойств дерново–подзолистых почв и продуктивности сельскохозяйственных культур в длительном последствии известкования в условиях Тверской области: диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук:06.01.04 / Всероссийский научно–исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова; Фирсов С.С. – Москва, 2016. – 179 с.

182. Фурсова, А. Ю. Влияние систем удобрения, способов и приёмов обработки почвы на плодородие чернозёма выщелоченного и продуктивность озимой пшеницы: автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.04 / ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет»; А.Ю. Фурсова – Ставрополь, 2015. – 22 с.

183. Ягодин, Б.А. Сера, магний и микроэлементы в питании растений / Б.А. Ягодин // Агрохимия. – 1985. – № 11. – С. 117–127.

184. Юдин, Ф.А. Методика агрохимических исследований / Ф.А. Юдин. – М.: Колос, 1980. – 368 с.

185. Яковлев, Е.Н. Дозы и соотношения минеральных удобрений под яровую пшеницу на черноземе выщелоченном Иркутской области / Е.Н. Яковлев // Агрохимия.– 1971. – № 11. –С. 74–79.

186. Янишевский, Ф.В. Баланс серы в полевом севообороте и фракционный состав элементарной серы, серосодержащих соединений дерново–подзолистой почвы при многолетнем применении удобрений / Ф.В. Янишевский,  
О.Г. Фомина, П.И. Фомин, В.В. Прокошев // Агрохимия.– 1977. – № 4. – С. 44–49.

187. Янковский, Н.Г. Экономическая и биоэнергетическая эффективность применения удобрений под сорта ярового ячменя /

Н.Г. ЯНКОВСКИЙ, Г.В. Овсянникова, С.Н. Доценко // *Зерновое хозяйство России*. – 2013. – № 4. – С. 40–43.

188. Anderson, O. Sulfur and crop production in Georgia / O. Anderson, J. Futral // *Georgia Agric Exptl. Sta. Bull., N.S., Tifton*. – 1966. – № 967.

189. Archer M.B.I. A sand culture experiment to compare the effects of sulphur on five wheat cultivars (*T. aestivum* L.) // *Austral. J. Agric. Res.* — 1974. — V. 25 — № 3. —P. 369–380.

190. Bennets, R. The role of sulfur in Canterbury soil / R. Bennets // *New Zealand. J. Agric.* – 1965. – V. 110. – № 1.

191. Bromfield, A. Absorption of atmospheric sulfur by mustard (*Sinapis alba*) grown in a grasshouse / A. Bromfield // *Agric Sci. Camb.* – 1972. – V. 78. – № 2.

192. Challenger, F. Aspects of the organic chemistry of sulfur / F. Challenger // London. – 1959.

193. Drake, F. Sulfur in East Gippsland / F. Drake, B. Curnow // *Agric. Victoria*. – 1967. – V. 65. – № 6.

194. Freney, T.R. Determining the Sulphur status of roheat / T.R. Freney, K. Spencer, M.B. Iones // *Sulphur in Agriculture*. – 1978. – V. 2. – P. 2–5.

195. Jensen, J. Some investigation of plant uptake of Sulfur / J. Jensen // *Soil Sci.* – 1963. – V. 95. – № 1.

196. Kaczor, A Adam. Wplyw kwasnych opadow na agroekosystemy / Kaczor A Adam, Kozłowska Jolanta // *Folia Univ. agr. Stetin. Agr.* – 2000. – V. 81. – P. 56–58.

197. Kilmer, V. The determination of available sulfur in soil / V. Kilmer, D. Nearpass // *Proc. S. S. S. Amer.* – 1960. – V. 24. – № 5.

198. Mengel, K. Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze / K. Mengel. Jena, – 1972. – 470 s.

199. Messick, D.L. Global sulfur requirement and sulfur fertilizers : Report «Sino–German Workshop on Aspects of Sulfur Nutrition of Plants, Shenyang,

23–27 Mai, 2004» / D.L. Messick, M.X. Fan, de Brey C. // Land–bauforsch. Volkenrode. – 2005. – Sonderh. 283. – C. 97–104.

200. Ritchie G.S.P., Weaver D.M. Phosphorus retention and release from sandy soils of the Peel Harvey cathment / G.S.P. Ritchie, D.M. Weaver // Fertilizer Research. – 1993. – V.36. – PP.15–122.

201. Olsen, R. Absorption of sulfurdioxide from the atmosphere by cotton plants / R. Olsen // Soil Sci. – 1957. – V. 84. – №2.

202. Peller, D. Optimisation de la fumure soufree par estimation du risqué de carence. Colza d autumn / Peller D., Mercier Edith, Balestra Ursula // Rev. Suisse agr. – 2003. – V. 35. – № 4. – P. 161–167.

203. Pumphrey, F. Diagnosing sulfur deficiency of alfalfa from plant analysis / F. Pumphrey, D. Moore // Agron. J. – 1965. – V. 57. – № 4.

204. Randall, P.J. Sulphur and nitrogen fertilizer effects on wheat / P.J. Randall, K.Spencer, J.R. Freney // Australian journal of Agric. Research. – 1981. – V.32. – P. 203–212.

205. Schnudq,E. The pole of sulfur of sustainable agriculture / E. Schnudq, S. Haneklaus// Landbau–forsch. Volkenrode. – 2005. Sondem. – 283. – P. 131–135.

206. Spencer, K. Accessing the sulphur status of field–grown wheat by plant analisis / K. Spencer, J.R. Freney // Agronomy Journal. – 1980. – V. 72. – P. 469–472.

207. Schnug, E. Sino–German Workshop on Aspects of Sulfur Nutrition of Plants, Shen–yang, 23–27 Mai, 2004 / E. Schnug, S. Haneklaus // Landbauforsch. Volkenrode. – 2005. – Sonderh. 283. – C. 131–135.

## Приложение 1

Значение среднесуточной температуры атмосферного воздуха и количество осадков за 2015 год исследований (в соответствии с данными метеостанции международного аэропорта «Ульяновск–Восточный» (рп5.ru))

Месяц	Температура, °С		Норма	Осадки, мм		Норма	
	Среднее	±		Сумма	±		
Январь	- 10,0	3,8	- 13,8	22,1	-7,9	30	
Февраль	- 7,7	5,5	- 13,2	35,4	10,4	25	
Март	- 3,6	3,4	- 7,0	7,7	-22,3	30	
Апрель	1 декада	1,5	0,8	0,7	12,9	3,9	9
	2 декада	5,8	1,7	4,1	16,3	7,3	9
	3 декада	7,0	-0,2	7,2	12,2	3,2	9
	Мес.	4,8	-1,3	6,1	41,4	14,4	27
Май	1 декада	13,1	3	10,1	0,0	-12	12
	2 декада	12,6	0	12,6	21,8	9,8	12
	3 декада	21,6	6,8	14,8	7,6	-4,4	12
	Мес.	15,8	3,3	12,5	29,4	-6,6	36
Июнь	1 декада	17,9	1,6	16,3	15,5	0,5	15
	2 декада	20,7	3	17,7	0,0	-16	16
	3 декада	25,0	6,4	18,6	7,3	-8,7	16
	Мес.	21,2	3,7	17,5	22,8	-24,2	47
Июль	1 декада	19,1	-0,3	19,4	78,3	59,3	19
	2 декада	17,4	-2,5	19,9	38,3	19,3	19
	3 декада	19,9	0,3	19,6	2,0	-16	18
	Мес.	18,8	-0,8	19,6	118,6	64,6	54
Август	1 декада	18,4	-0,3	18,7	5,3	-12,7	18
	2 декада	15,7	-1,9	17,6	7,3	-9,7	17
	3 декада	15,5	-1,4	16,9	7,0	-10	17
	Мес.	16,5	-0,9	17,4	19,6	-32,4	52
Сентябрь	15,6	4,3	11,3	19,3	-27,7	47	
Октябрь	2,8	-0,8	3,6	43,2	-3,8	47	
Ноябрь	- 0,3	3,6	- 3,9	80,4	40,4	40	
Декабрь	- 3,1	7,3	- 10,4	37,3	1,3	36	

## Приложение 2

Значение среднесуточной температуры атмосферного воздуха и количество осадков за 2016 год исследований (в соответствии с данными метеостанции международного аэропорта «Ульяновск–Восточный» (рп5.ru))

Месяц	Температура, °С		Норма	Осадки, мм		Норма	
	Среднее	±		Сумма	±		
Январь	- 12,7	1,1	- 13,8	72,0	42	30	
Февраль	- 2,6	10,6	- 13,2	28,3	3,3	25	
Март	- 1,3	5,7	- 7,0	39,8	9,8	30	
Апрель	1 декада	4,9	4,2	0,7	23,7	14,7	9
	2 декада	10,7	6,6	4,1	16,5	7,5	9
	3 декада	10,2	3,0	7,2	7,3	-1,7	9
	Мес.	8,6	2,5	6,1	47,5	20,5	27
Май	1 декада	12,7	2,6	10,1	12,0	0	12
	2 декада	13,0	0,4	12,6	35,8	23,8	12
	3 декада	18,9	4,1	14,8	23,3	11,3	12
	Мес.	14,9	2,4	12,5	71,1	35,1	36
Июнь	1 декада	13,6	- 2,7	16,3	59,6	44,6	15
	2 декада	20,4	2,7	17,7	11,9	-4,1	16
	3 декада	18,6	0	18,6	6,3	-9,7	16
	Мес.	17,5	0	17,5	77,8	30,8	47
Июль	1 декада	19,7	0,3	19,4	21,0	2	19
	2 декада	22,8	2,9	19,9	2,0	-17	19
	3 декада	21,7	2,1	19,6	42,0	24	18
	Мес.	21,4	1,8	19,6	65,0	11	54
Август	1 декада	23,5	4,8	18,7	17,0	-1	18
	2 декада	24,4	6,8	17,6	2,3	-14,7	17
	3 декада	20,6	3,7	16,9	4,0	-13	17
	Мес.	22,8	5,4	17,4	23,3	-28,7	52
Сентябрь	11,4	0,1	11,3	111,0	64	47	
Октябрь	4,2	0,6	3,6	22,5	-24,5	47	
Ноябрь	- 3,8	0,1	- 3,9	55,9	15,9	40	
Декабрь	- 10,9	- 0,5	- 10,4	25,0	-11	36	

## Приложение 3

Значение среднесуточной температуры атмосферного воздуха и количество осадков за 2017 год исследований (в соответствии с данными метеостанции международного аэропорта «Ульяновск–Восточный» (рп5.ru))

Месяц	Температура, °С		Норма	Осадки, мм		Норма	
	Среднее	±		Сумма	±		
Январь	- 11,2	2,6	- 13,8	36,9	6,9	30	
Февраль	- 7,9	5,3	- 13,2	32,2	7,2	25	
Март	- 1,3	5,7	- 7,0	15,1	-14,9	30	
Апрель	1 декада	2,1	1,4	0,7	8	-1	9
	2 декада	5,3	1,2	4,1	17,8	8,8	9
	3 декада	9,0	1,8	7,2	30,3	21,3	9
	Мес.	5,5	-0,6	6,1	56,1	29,1	27
Май	1 декада	13,0	2,9	10,1	3,3	-8,7	12
	2 декада	10,2	-2,4	12,6	18	6	12
	3 декада	12,5	-2,3	14,8	31,1	19,1	12
	Мес.	11,9	-0,6	12,5	52,4	16,4	36
Июнь	1 декада	12,5	-3,8	16,3	21	6	15
	2 декада	17,1	-0,6	17,7	9,7	-6,3	16
	3 декада	17,1	-1,5	18,6	33,8	17,8	16
	Мес.	15,6	-1,9	17,5	64,5	17,5	47
Июль	1 декада	16,9	-2,5	19,4	167,1	148,1	19
	2 декада	20,2	0,3	19,9	7,5	-11,5	19
	3 декада	20,9	1,3	19,6	15,6	-2,4	18
	Мес.	19,4	-0,2	19,6	190,2	136,2	54
Август	1 декада	20,6	1,9	18,7	0,9	-17,1	18
	2 декада	18,1	0,5	17,6	0	-17	17
	3 декада	18,8	1,9	16,9	16,5	-0,5	17
	Мес.	19,2	1,8	17,4	17,4	-34,6	52
Сентябрь	12,6	1,3	11,3	60,3	13,3	47	
Октябрь	4,5	0,9	3,6	79,8	32,8	47	
Ноябрь	- 0,3	3,6	- 3,9	24,3	-15,7	40	
Декабрь	- 4,6	5,8	- 10,4	44	8	36	

Содержание серы в почвах сельскохозяйственных угодий  
Ульяновской области

Год	Обследованная площадь, тыс. га	Группировка серы					
		низкое		среднее		высокое	
		тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
01.01.2005	1940,9	1205,8	62,1	487,2	25,1	247,9	12,8
01.01.2017	1740,6	1295,3	74,4	368,2	21,2	77,1	4,4
Градация почв по содержанию серы, мг/кг		<6,0		6,1–12,0		>12,0	

Содержание доступных соединений азота в черноземе выщелоченном  
перед посевом яровой пшеницы, мг/кг (2015 – 2017 гг.)

Вариант	Годы исследований	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	2015	11,1	5,8	16,9
	2016	10,9	5,6	16,5
	2017	11,3	5,9	17,2
	<b>Среднее</b>	<b>11,1</b>	<b>5,8</b>	<b>16,9</b>
2. S	2015	11,5	6	17,5
	2016	11,1	5,7	16,8
	2017	11,6	6,2	17,8
	<b>Среднее</b>	<b>11,4</b>	<b>6,0</b>	<b>17,4</b>
3. ZnSO <sub>4</sub>	2015	11,3	5,9	17,2
	2016	11	5,6	16,6
	2017	11,5	6,3	17,8
	<b>Среднее</b>	<b>11,3</b>	<b>5,9</b>	<b>17,2</b>
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	11,3	6	17,3
	2016	10,9	5,8	16,7
	2017	11,4	6,1	17,5
	<b>Среднее</b>	<b>11,2</b>	<b>6,0</b>	<b>17,2</b>
5. CaSO <sub>4</sub>	2015	11,1	5,8	16,9
	2016	10,8	5,5	16,3
	2017	11,4	6	17,4
	<b>Среднее</b>	<b>11,1</b>	<b>5,8</b>	<b>16,9</b>
6. N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (фон, NPK)	2015	11,4	6	17,4
	2016	11,1	5,7	16,8
	2017	11,6	6,2	17,8
	<b>Среднее</b>	<b>11,4</b>	<b>6,0</b>	<b>17,3</b>
7. NPK + S	2015	11,7	6,1	17,8
	2016	11,4	5,8	17,2
	2017	11,8	6,2	18
	<b>Среднее</b>	<b>11,6</b>	<b>6,0</b>	<b>17,7</b>
8. NPK + ZnSO <sub>4</sub>	2015	11,5	6,1	17,6
	2016	11,2	5,9	17,1
	2017	11,7	6,3	18
	<b>Среднее</b>	<b>11,5</b>	<b>6,1</b>	<b>17,6</b>
9. NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	11,4	6	17,4
	2016	11,1	5,7	16,8

		2017	11,6	6,1	17,7
		<b>Среднее</b>	<b>11,4</b>	<b>5,9</b>	<b>17,3</b>
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>		2015	11,1	5,9	17
		2016	10,8	5,6	16,4
		2017	11,4	6,1	17,5
		<b>Среднее</b>	<b>11,1</b>	<b>5,9</b>	<b>17,0</b>
НСР <sub>05</sub>	2015	Фактор А	0,4	0,2	-
		Фактор В	0,6	0,3	-
	2016	Фактор А	0,5	0,3	-
		Фактор В	0,3	0,2	-
	2017	Фактор А	0,6	0,3	-
		Фактор В	0,4	0,2	-

Содержание доступных соединений азота в черноземе выщелоченном  
в фазу колошения яровой пшеницы, мг/кг (2015 – 2017 гг.)

Вариант	Годы исследований	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	2015	11,5	6,9	18,4
	2016	11,3	6,7	18
	2017	11,6	7,2	18,8
	<b>Среднее</b>	<b>11,5</b>	<b>6,9</b>	<b>18,4</b>
2. S	2015	11,8	7,1	18,9
	2016	11,6	6,8	18,4
	2017	11,8	7,4	19,2
	<b>Среднее</b>	<b>11,7</b>	<b>7,1</b>	<b>18,8</b>
3. ZnSO <sub>4</sub>	2015	11,7	7,1	18,8
	2016	11,5	6,9	18,4
	2017	11,7	7,5	19,2
	<b>Среднее</b>	<b>11,6</b>	<b>7,2</b>	<b>18,8</b>
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	11,9	7,6	19,5
	2016	11,7	7,1	18,8
	2017	12	7,7	19,7
	<b>Среднее</b>	<b>11,9</b>	<b>7,5</b>	<b>19,3</b>
5. CaSO <sub>4</sub>	2015	11,6	7,4	19
	2016	11,4	7,2	18,6
	2017	11,6	7,4	19
	<b>Среднее</b>	<b>11,5</b>	<b>7,3</b>	<b>18,9</b>
6. N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (фон, NPK)	2015	12,4	7,7	20,1
	2016	12,2	7,5	19,7
	2017	12,4	7,6	20
	<b>Среднее</b>	<b>12,3</b>	<b>7,6</b>	<b>19,9</b>
7. NPK + S	2015	12,7	7,8	20,5
	2016	12,5	7,6	20,1
	2017	12,5	7,5	20
	<b>Среднее</b>	<b>12,6</b>	<b>7,6</b>	<b>20,2</b>
8. NPK + ZnSO <sub>4</sub>	2015	12,8	8	20,8
	2016	12,6	7,8	20,4
	2017	12,6	7,6	20,2
	<b>Среднее</b>	<b>12,7</b>	<b>7,8</b>	<b>20,5</b>
9. NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	12,8	8,5	21,3
	2016	12,6	8,2	20,8
	2017	12,4	7,9	20,3
	<b>Среднее</b>	<b>12,6</b>	<b>8,2</b>	<b>20,8</b>

10. NPK + CaSO <sub>4</sub>		2015	12	8,2	20,2
		2016	11,8	8	19,8
		2017	11,9	7,7	19,6
		<b>Среднее</b>	<b>11,9</b>	<b>8,0</b>	<b>19,9</b>
НСР <sub>05</sub>	2015	Фактор А	0,6	0,4	-
		Фактор В	0,4	0,2	-
	2016	Фактор А	0,6	0,4	-
		Фактор В	0,5	0,2	-
	2017	Фактор А	0,6	0,3	-
		Фактор В	0,4	0,2	-

Содержание доступных соединений азота в черноземе выщелоченном  
перед уборкой яровой пшеницы, мг/кг (2015 – 2017 гг.)

Вариант	Годы исследований	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub>
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	2015	9,2	4,8	14
	2016	9,1	4,7	13,8
	2017	9,4	5,1	14,5
	<b>Среднее</b>	<b>9,2</b>	<b>4,9</b>	<b>14,1</b>
2. S	2015	10	5,1	15,1
	2016	9,7	5	14,7
	2017	10,2	5,4	15,6
	<b>Среднее</b>	<b>10,0</b>	<b>5,2</b>	<b>15,1</b>
3. ZnSO <sub>4</sub>	2015	9,8	4,9	14,7
	2016	9,5	4,7	14,2
	2017	10	5,3	15,3
	<b>Среднее</b>	<b>9,8</b>	<b>5,0</b>	<b>14,7</b>
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	10,1	5,5	15,6
	2016	9,7	5,4	15,1
	2017	10,2	5,7	15,9
	<b>Среднее</b>	<b>10,0</b>	<b>5,5</b>	<b>15,5</b>
5. CaSO <sub>4</sub>	2015	9,9	5	14,9
	2016	9,8	4,9	14,7
	2017	10,1	5,2	15,3
	<b>Среднее</b>	<b>9,9</b>	<b>5,0</b>	<b>14,9</b>
6. N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (фон, NPK)	2015	10,6	5,4	16
	2016	10,2	5,3	15,5
	2017	10,5	5,6	16,1
	<b>Среднее</b>	<b>10,4</b>	<b>5,4</b>	<b>15,8</b>
7. NPK + S	2015	10,9	6	16,9
	2016	10,3	5,8	16,1
	2017	10,6	6,1	16,7
	<b>Среднее</b>	<b>10,6</b>	<b>6,0</b>	<b>16,6</b>
8. NPK + ZnSO <sub>4</sub>	2015	10,7	5,6	16,3
	2016	10,4	5,4	15,8
	2017	10,7	5,9	16,6
	<b>Среднее</b>	<b>10,6</b>	<b>5,6</b>	<b>16,2</b>
9. NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	10,6	6,1	16,7
	2016	10,3	5,8	16,1
	2017	10,6	6,3	16,9
	<b>Среднее</b>	<b>10,5</b>	<b>6,1</b>	<b>16,6</b>

10. NPK + CaSO <sub>4</sub>		2015	10,4	5,7	16,1
		2016	10,1	5,5	15,6
		2017	10,4	5,9	16,3
		<b>Среднее</b>	<b>10,3</b>	<b>5,7</b>	<b>16,0</b>
НСР <sub>05</sub>	2015	Фактор А	0,5	0,4	-
		Фактор В	0,3	0,2	-
	2016	Фактор А	0,5	0,3	-
		Фактор В	0,2	0,2	-
	2017	Фактор А	0,5	0,3	-
		Фактор В	0,3	0,2	-

Агрохимические показатели чернозема выщелоченного  
перед посевом яровой пшеницы, мг/кг (2015 – 2017 гг.)

Вариант	Годы исследований	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	2015	4,4	140	141
	2016	4,2	138	139
	2017	4,3	142	144
	<b>Среднее</b>	<b>4,3</b>	<b>140</b>	<b>141</b>
2. S	2015	4,3	149	145
	2016	4,1	146	142
	2017	4,2	151	148
	<b>Среднее</b>	<b>4,2</b>	<b>149</b>	<b>145</b>
3. ZnSO <sub>4</sub>	2015	4,4	145	148
	2016	4,2	142	144
	2017	4,3	146	151
	<b>Среднее</b>	<b>4,3</b>	<b>144</b>	<b>148</b>
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	4,4	152	143
	2016	4,3	149	140
	2017	4,3	152	146
	<b>Среднее</b>	<b>4,3</b>	<b>151</b>	<b>143</b>
5. CaSO <sub>4</sub>	2015	4,5	150	146
	2016	4,4	147	143
	2017	4,4	153	149
	<b>Среднее</b>	<b>4,4</b>	<b>150</b>	<b>146</b>
6. N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (фон, NPK)	2015	4,5	155	153
	2016	4,4	151	150
	2017	4,4	157	155
	<b>Среднее</b>	<b>4,4</b>	<b>154</b>	<b>153</b>
7.NPK + S	2015	4,4	157	156
	2016	4,3	153	152
	2017	4,3	159	158
	<b>Среднее</b>	<b>4,3</b>	<b>156</b>	<b>155</b>
8.NPK + ZnSO <sub>4</sub>	2015	4,3	152	158
	2016	4,2	150	156
	2017	4,3	154	158
	<b>Среднее</b>	<b>4,3</b>	<b>152</b>	<b>157</b>
9.NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	4,3	154	157
	2016	4,2	151	155
	2017	4,3	156	157
	<b>Среднее</b>	<b>4,3</b>	<b>154</b>	<b>156</b>

10. NPK + CaSO <sub>4</sub>		2015	4,4	148	150
		2016	4,2	146	149
		2017	4,4	153	154
		<b>Среднее</b>	<b>4,3</b>	<b>149</b>	<b>151</b>
НСР <sub>05</sub>	2015	Фактор А	9	8	0,2
		Фактор В	5	6	0,2
	2016	Фактор А	8	8	0,2
		Фактор В	5	6	0,2
	2017	Фактор А	9	9	0,2
		Фактор В	6	7	0,2

Агрохимические показатели чернозема выщелоченного  
в фазу колошения яровой пшеницы, мг/кг (2015 – 2017 гг.)

Вариант	Годы исследований	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	2015	4,4	137	137
	2016	4,1	136	135
	2017	4,2	139	141
	<b>Среднее</b>	<b>4,2</b>	<b>137</b>	<b>138</b>
2. S	2015	4,3	150	146
	2016	4,1	147	144
	2017	4,2	153	149
	<b>Среднее</b>	<b>4,2</b>	<b>150</b>	<b>146</b>
3. ZnSO <sub>4</sub>	2015	4,4	144	146
	2016	4,2	140	145
	2017	4,3	147	145
	<b>Среднее</b>	<b>4,3</b>	<b>144</b>	<b>145</b>
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	4,5	153	145
	2016	4,3	150	142
	2017	4,4	155	147
	<b>Среднее</b>	<b>4,4</b>	<b>153</b>	<b>145</b>
5. CaSO <sub>4</sub>	2015	4,5	150	147
	2016	4,4	144	144
	2017	4,5	154	148
	<b>Среднее</b>	<b>4,5</b>	<b>149</b>	<b>146</b>
6. N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (фон, NPK)	2015	4,5	152	151
	2016	4,4	152	151
	2017	4,5	159	154
	<b>Среднее</b>	<b>4,5</b>	<b>154</b>	<b>152</b>
7.NPK + S	2015	4,4	158	157
	2016	4,3	154	154
	2017	4,4	160	159
	<b>Среднее</b>	<b>4,4</b>	<b>157</b>	<b>157</b>
8.NPK + ZnSO <sub>4</sub>	2015	4,4	150	156
	2016	4,3	151	156
	2017	4,3	155	158
	<b>Среднее</b>	<b>4,3</b>	<b>152</b>	<b>157</b>
9.NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	4,4	156	159
	2016	4,3	153	158
	2017	4,4	159	159
	<b>Среднее</b>	<b>4,4</b>	<b>156</b>	<b>159</b>

10. NPK + CaSO <sub>4</sub>		2015	4,4	149	152
		2016	4,3	146	150
		2017	4,5	154	155
		<b>Среднее</b>	<b>4,4</b>	<b>150</b>	<b>152</b>
НСР <sub>05</sub>	2015	Фактор А	9	8	0,2
		Фактор В	6	5	0,2
	2016	Фактор А	9	8	0,2
		Фактор В	5	6	0,2
	2017	Фактор А	9	8	0,2
		Фактор В	6	5	0,2

Агрохимические показатели чернозема выщелоченного  
перед уборкой яровой пшеницы, мг/кг (2015 – 2017 гг.)

Вариант	Годы исследований	Гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	2015	4,3	134	133
	2016	4,1	135	134
	2017	4,2	138	141
	<b>Среднее</b>	<b>4,2</b>	<b>136</b>	<b>136</b>
2. S	2015	4,4	151	146
	2016	4,1	147	144
	2017	4,3	154	149
	<b>Среднее</b>	<b>4,3</b>	<b>151</b>	<b>146</b>
3. ZnSO <sub>4</sub>	2015	4,4	142	144
	2016	4,3	139	145
	2017	4,3	147	145
	<b>Среднее</b>	<b>4,3</b>	<b>143</b>	<b>145</b>
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	4,5	153	145
	2016	4,3	151	142
	2017	4,4	156	147
	<b>Среднее</b>	<b>4,4</b>	<b>153</b>	<b>145</b>
5. CaSO <sub>4</sub>	2015	4,5	151	147
	2016	4,4	144	144
	2017	4,5	154	148
	<b>Среднее</b>	<b>4,5</b>	<b>150</b>	<b>146</b>
6. N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (фон, NPK)	2015	4,6	150	151
	2016	4,4	153	151
	2017	4,6	159	154
	<b>Среднее</b>	<b>4,5</b>	<b>154</b>	<b>152</b>
7.NPK + S	2015	4,5	158	157
	2016	4,3	155	154
	2017	4,5	160	159
	<b>Среднее</b>	<b>4,4</b>	<b>158</b>	<b>157</b>
8.NPK + ZnSO <sub>4</sub>	2015	4,4	150	156
	2016	4,3	151	156
	2017	4,4	155	158
	<b>Среднее</b>	<b>4,4</b>	<b>152</b>	<b>157</b>
9.NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	4,4	156	159
	2016	4,3	153	158
	2017	4,4	159	160
	<b>Среднее</b>	<b>4,4</b>	<b>156</b>	<b>159</b>

10. NPK + CaSO <sub>4</sub>		2015	4,5	149	153
		2016	4,3	146	150
		2017	4,5	154	155
		<b>Среднее</b>	<b>4,4</b>	<b>150</b>	<b>153</b>
НСР <sub>05</sub>	2015	Фактор А	9	9	0,2
		Фактор В	6	5	0,2
	2016	Фактор А	9	9	0,2
		Фактор В	5	6	0,2
	2017	Фактор А	9	9	0,2
		Фактор В	6	7	0,2

Динамика кислотности и содержание подвижной серы, мг/кг  
перед посевом яровой пшеницы(2015 – 2017 гг.)

Вариант	Годы исследований	pH	SO <sub>4</sub>
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	2015	5,4	6,2
	2016	5,3	6,1
	2017	5,4	6,3
	<b>Среднее</b>	<b>5,4</b>	<b>6,2</b>
2. S	2015	5,3	5,9
	2016	5,3	6,2
	2017	5,3	5,8
	<b>Среднее</b>	<b>5,3</b>	<b>6,0</b>
3. ZnSO <sub>4</sub>	2015	5,4	6,3
	2016	5,4	6,3
	2017	5,3	6,4
	<b>Среднее</b>	<b>5,4</b>	<b>6,3</b>
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	5,4	6,5
	2016	5,3	6,0
	2017	5,4	6,3
	<b>Среднее</b>	<b>5,4</b>	<b>6,3</b>
5. CaSO <sub>4</sub>	2015	5,4	6,0
	2016	5,3	5,8
	2017	5,3	6,1
	<b>Среднее</b>	<b>5,3</b>	<b>6,0</b>
6. N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (фон, NPK)	2015	5,3	6,1
	2016	5,3	6,6
	2017	5,4	6,6
	<b>Среднее</b>	<b>5,3</b>	<b>6,4</b>
7.NPK + S	2015	5,3	6,2
	2016	5,4	6,6
	2017	5,3	6,2
	<b>Среднее</b>	<b>5,3</b>	<b>6,3</b>
8.NPK + ZnSO <sub>4</sub>	2015	5,3	6,3
	2016	5,4	6,5
	2017	5,3	6,1
	<b>Среднее</b>	<b>5,3</b>	<b>6,3</b>
9.NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	5,4	6,6
	2016	5,3	6,4
	2017	5,3	6,3
	<b>Среднее</b>	<b>5,3</b>	<b>6,4</b>

10. NPK + CaSO <sub>4</sub>		2015	5,4	6,4
		2016	5,3	6,8
		2017	5,3	6,4
		<b>Среднее</b>	<b>5,3</b>	<b>6,5</b>
НСП <sub>05</sub>	2015	Фактор А	0,4	0,4
		Фактор В	0,2	0,3
	2016	Фактор А	0,4	0,3
		Фактор В	0,2	0,2
	2017	Фактор А	0,4	0,4
		Фактор В	0,2	0,3

Динамика кислотности и содержание подвижной серы, мг/кг  
в фазу колошения яровой пшеницы (2015 – 2017 гг.)

Вариант	Годы исследований	pH	SO <sub>4</sub>
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	2015	5,4	6,0
	2016	5,2	5,8
	2017	5,4	6
	<b>Среднее</b>	<b>5,3</b>	<b>5,9</b>
2. S	2015	5,3	6,2
	2016	5,2	6,4
	2017	5,3	6,4
	<b>Среднее</b>	<b>5,3</b>	<b>6,3</b>
3. ZnSO <sub>4</sub>	2015	5,4	6,4
	2016	5,4	6,5
	2017	5,3	6,6
	<b>Среднее</b>	<b>5,4</b>	<b>6,5</b>
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	5,4	7,0
	2016	5,3	6,8
	2017	5,4	6,7
	<b>Среднее</b>	<b>5,4</b>	<b>6,8</b>
5. CaSO <sub>4</sub>	2015	5,4	6,4
	2016	5,3	6,2
	2017	5,3	6,8
	<b>Среднее</b>	<b>5,3</b>	<b>6,5</b>
<b>6. N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> (фон, NPK)</b>	2015	5,4	6,3
	2016	5,4	6,7
	2017	5,4	6,8
	<b>Среднее</b>	<b>5,4</b>	<b>6,6</b>
7.NPK + S	2015	5,3	6,6
	2016	5,4	7,0
	2017	5,3	6,8
	<b>Среднее</b>	<b>5,3</b>	<b>6,8</b>
8.NPK + ZnSO <sub>4</sub>	2015	5,3	6,7
	2016	5,4	6,9
	2017	5,3	6,8
	<b>Среднее</b>	<b>5,3</b>	<b>6,8</b>
9.NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	5,4	7,2
	2016	5,3	7,2
	2017	5,4	7,1
	<b>Среднее</b>	<b>5,4</b>	<b>7,2</b>

10. NPK + CaSO <sub>4</sub>		2015	5,4	7,1
		2016	5,4	7,3
		2017	5,3	7,0
		<b>Среднее</b>	<b>5,4</b>	<b>7,1</b>
НСП <sub>05</sub>	2015	Фактор А	0,4	0,4
		Фактор В	0,2	0,2
	2016	Фактор А	0,4	0,4
		Фактор В	0,2	0,2
	2017	Фактор А	0,3	0,4
		Фактор В	0,2	0,2

Динамика кислотности и содержание подвижной серы, мг/кг  
перед уборкой яровой пшеницы(2015 – 2017 гг.)

Вариант	Годы исследований	pH	SO <sub>4</sub>
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	2015	5,3	5,9
	2016	5,2	5,7
	2017	5,3	6
	<b>Среднее</b>	<b>5,3</b>	<b>5,9</b>
2. S	2015	5,2	6,3
	2016	5,2	6,5
	2017	5,3	6,5
	<b>Среднее</b>	<b>5,2</b>	<b>6,4</b>
3. ZnSO <sub>4</sub>	2015	5,4	6,5
	2016	5,4	6,5
	2017	5,3	6,8
	<b>Среднее</b>	<b>5,4</b>	<b>6,6</b>
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	5,4	7,3
	2016	5,3	7
	2017	5,4	7,1
	<b>Среднее</b>	<b>5,4</b>	<b>7,1</b>
5. CaSO <sub>4</sub>	2015	5,4	6,5
	2016	5,3	6,4
	2017	5,3	7
	<b>Среднее</b>	<b>5,3</b>	<b>6,6</b>
6. N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (фон, NPK)	2015	5,4	6,3
	2016	5,4	6,9
	2017	5,5	6,8
	<b>Среднее</b>	<b>5,4</b>	<b>6,7</b>
7.NPK + S	2015	5,3	6,7
	2016	5,4	7,1
	2017	5,3	6,9
	<b>Среднее</b>	<b>5,3</b>	<b>6,9</b>
8.NPK + ZnSO <sub>4</sub>	2015	5,3	6,7
	2016	5,4	7
	2017	5,3	7
	<b>Среднее</b>	<b>5,3</b>	<b>6,9</b>
9.NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	5,4	7,4
	2016	5,3	7,5
	2017	5,4	7,4
	<b>Среднее</b>	<b>5,4</b>	<b>7,4</b>

10. NPK + CaSO <sub>4</sub>		2015	5,4	7,2
		2016	5,4	7,5
		2017	5,4	7,2
		<b>Среднее</b>	<b>5,4</b>	<b>7,3</b>
НСП <sub>05</sub>	2015	Фактор А	0,3	0,4
		Фактор В	0,2	0,3
	2016	Фактор А	0,4	0,4
		Фактор В	0,2	0,3
	2017	Фактор А	0,4	0,4
		Фактор В	0,2	0,3

Содержание питательных элементов в продукции яровой пшеницы, мг/кг  
(2015 – 2016 гг.)

Вариант	Годы	Содержание NPKS, % на сух. вещество								
		В зерне				В соломе				
		N	P	K	S	N	P	K	S	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. Без удобрений (контроль)	2015	2,09	0,71	0,31	0,11	0,68	0,20	0,85	0,07	
	2016	2,07	0,70	0,31	0,11	0,66	0,19	0,83	0,06	
	<b>Среднее</b>	<b>2,08</b>	<b>0,71</b>	<b>0,31</b>	<b>0,11</b>	<b>0,67</b>	<b>0,20</b>	<b>0,84</b>	<b>0,06</b>	
2. S	2015	2,12	0,76	0,32	0,13	0,72	0,23	0,87	0,10	
	2016	2,15	0,75	0,32	0,13	0,69	0,21	0,86	0,09	
	<b>Среднее</b>	<b>2,14</b>	<b>0,76</b>	<b>0,32</b>	<b>0,13</b>	<b>0,70</b>	<b>0,22</b>	<b>0,87</b>	<b>0,10</b>	
3. ZnSO <sub>4</sub>	2015	2,31	0,78	0,35	0,16	0,76	0,24	0,97	0,13	
	2016	2,23	0,76	0,35	0,15	0,75	0,22	0,94	0,11	
	<b>Среднее</b>	<b>2,27</b>	<b>0,77</b>	<b>0,35</b>	<b>0,16</b>	<b>0,76</b>	<b>0,23</b>	<b>0,96</b>	<b>0,12</b>	
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	2,28	0,78	0,34	0,16	0,75	0,23	0,94	0,12	
	2016	2,32	0,79	0,34	0,16	0,74	0,22	0,93	0,10	
	<b>Среднее</b>	<b>2,30</b>	<b>0,79</b>	<b>0,34</b>	<b>0,16</b>	<b>0,75</b>	<b>0,23</b>	<b>0,94</b>	<b>0,11</b>	
5. CaSO <sub>4</sub>	2015	2,25	0,72	0,34	0,15	0,75	0,22	0,92	0,11	
	2016	2,16	0,73	0,33	0,14	0,73	0,20	0,91	0,11	
	<b>Среднее</b>	<b>2,21</b>	<b>0,73</b>	<b>0,34</b>	<b>0,15</b>	<b>0,74</b>	<b>0,21</b>	<b>0,92</b>	<b>0,11</b>	
6. N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (фон, NPK)	2015	2,34	0,81	0,37	0,13	0,85	0,27	1,03	0,13	
	2016	2,38	0,82	0,37	0,14	0,82	0,25	1,01	0,09	
	<b>Среднее</b>	<b>2,36</b>	<b>0,82</b>	<b>0,37</b>	<b>0,14</b>	<b>0,84</b>	<b>0,26</b>	<b>1,02</b>	<b>0,11</b>	
7. NPK + S	2015	2,30	0,87	0,37	0,16	0,83	0,27	1,06	0,12	
	2016	2,39	0,86	0,38	0,17	0,80	0,26	1,05	0,11	
	<b>Среднее</b>	<b>2,35</b>	<b>0,87</b>	<b>0,38</b>	<b>0,17</b>	<b>0,82</b>	<b>0,27</b>	<b>1,06</b>	<b>0,12</b>	
8. NPK + ZnSO <sub>4</sub>	2015	2,49	0,86	0,41	0,17	0,90	0,28	1,15	0,14	
	2016	2,49	0,83	0,40	0,17	0,88	0,27	1,14	0,13	
	<b>Среднее</b>	<b>2,49</b>	<b>0,85</b>	<b>0,41</b>	<b>0,17</b>	<b>0,89</b>	<b>0,28</b>	<b>1,15</b>	<b>0,14</b>	
9. NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	2,56	0,89	0,40	0,17	0,89	0,30	1,07	0,13	
	2016	2,35	0,82	0,37	0,16	0,88	0,28	1,06	0,11	
	<b>Среднее</b>	<b>2,46</b>	<b>0,86</b>	<b>0,39</b>	<b>0,17</b>	<b>0,89</b>	<b>0,29</b>	<b>1,07</b>	<b>0,13</b>	
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	2015	2,53	0,79	0,39	0,17	0,87	0,26	1,05	0,13	
	2016	2,36	0,82	0,36	0,16	0,85	0,25	1,04	0,11	
	<b>Среднее</b>	<b>2,45</b>	<b>0,81</b>	<b>0,38</b>	<b>0,17</b>	<b>0,86</b>	<b>0,26</b>	<b>1,05</b>	<b>0,12</b>	
НСР <sub>05</sub>	2015	Фактор А	0,11	0,04	0,02	0,01	0,07	0,03	0,05	0,02
		Фактор В	0,07	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,03	0,01
	2016	Фактор А	0,09	0,03	0,02	0,02	0,06	0,02	0,04	0,02
		Фактор В	0,06	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,03	0,01

Содержание белка и сырой клейковины в зерне яровой пшеницы, %  
(2015 – 2016 гг.)

Вариант	Годы	Белок	Клейковина	
1	2	3	4	
<b>1. Без удобрений (контроль)</b>	2015	11,9	23,9	
	2016	11,8	22,1	
	<b>Среднее</b>	<b>11,9</b>	<b>23,0</b>	
2. S	2015	12,1	24,7	
	2016	12,3	23,6	
	<b>Среднее</b>	<b>12,2</b>	<b>24,2</b>	
3. ZnSO <sub>4</sub>	2015	13,2	28,5	
	2016	12,7	26,6	
	<b>Среднее</b>	<b>12,9</b>	<b>27,6</b>	
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	13,0	25,1	
	2016	13,2	27,2	
	<b>Среднее</b>	<b>13,1</b>	<b>26,2</b>	
5. CaSO <sub>4</sub>	2015	12,8	27,1	
	2016	12,3	25,5	
	<b>Среднее</b>	<b>12,6</b>	<b>26,3</b>	
6. N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (фон, NPK)	2015	13,3	30,3	
	2016	13,6	27,8	
	<b>Среднее</b>	<b>13,5</b>	<b>29,1</b>	
7. NPK + S	2015	13,1	27,5	
	2016	13,6	27,6	
	<b>Среднее</b>	<b>13,4</b>	<b>27,6</b>	
8. NPK + ZnSO <sub>4</sub>	2015	14,2	29,8	
	2016	14,2	29,5	
	<b>Среднее</b>	<b>14,2</b>	<b>29,7</b>	
9. NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	14,6	26,0	
	2016	13,4	26,4	
	<b>Среднее</b>	<b>14,0</b>	<b>26,2</b>	
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	2015	14,4	27,9	
	2016	13,5	28,0	
	<b>Среднее</b>	<b>13,9</b>	<b>28,0</b>	
HCP <sub>05</sub>	2015	Фактор А	0,7	0,8
		Фактор В	0,4	0,5
	2016	Фактор А	0,5	0,7
		Фактор В	0,3	0,5

Содержание тяжелых металлов в зерне яровой пшеницы, мг/кг  
(2015 – 2016 гг.)

Вариант	Годы	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	
1	2	3	4	5	6	7	
1. Без удобрений (контроль)	2015	30,9	3,43	0,35	0,056	1,13	
	2016	28,9	3,4	0,33	0,088	1,04	
	<b>Среднее</b>	<b>29,9</b>	<b>3,4</b>	<b>0,34</b>	<b>0,07</b>	<b>1,09</b>	
2. S	2015	30,2	3,26	0,44	0,060	1,11	
	2016	28,3	3,3	0,35	0,086	1,07	
	<b>Среднее</b>	<b>29,3</b>	<b>3,3</b>	<b>0,40</b>	<b>0,07</b>	<b>1,09</b>	
3. ZnSO <sub>4</sub>	2015	29,8	3,25	0,34	0,058	1,10	
	2016	27,9	3,2	0,32	0,074	0,93	
	<b>Среднее</b>	<b>28,9</b>	<b>3,2</b>	<b>0,33</b>	<b>0,07</b>	<b>1,02</b>	
4. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	29,6	3,34	0,44	0,060	1,06	
	2016	27,5	3,3	0,32	0,078	0,97	
	<b>Среднее</b>	<b>28,6</b>	<b>3,3</b>	<b>0,38</b>	<b>0,07</b>	<b>1,02</b>	
5. CaSO <sub>4</sub>	2015	29,5	3,41	0,43	0,048	0,93	
	2016	27,1	3,0	0,29	0,067	0,88	
	<b>Среднее</b>	<b>28,3</b>	<b>3,2</b>	<b>0,36</b>	<b>0,06</b>	<b>0,91</b>	
6. N <sub>40</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> (фон, NPK)	2015	29,6	3,37	0,43	0,060	0,93	
	2016	26,6	2,6	0,26	0,064	0,83	
	<b>Среднее</b>	<b>28,1</b>	<b>3,0</b>	<b>0,35</b>	<b>0,06</b>	<b>0,88</b>	
7. NPK + S	2015	29,0	3,41	0,44	0,053	0,95	
	2016	28,0	3,1	0,33	0,075	0,97	
	<b>Среднее</b>	<b>28,5</b>	<b>3,3</b>	<b>0,39</b>	<b>0,06</b>	<b>0,96</b>	
8. NPK + ZnSO <sub>4</sub>	2015	30,9	3,31	0,38	0,067	0,92	
	2016	26,3	3,2	0,30	0,067	0,87	
	<b>Среднее</b>	<b>28,6</b>	<b>3,3</b>	<b>0,34</b>	<b>0,07</b>	<b>0,90</b>	
9. NPK + (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2015	28,8	3,23	0,35	0,063	0,91	
	2016	26,1	3,1	0,31	0,070	0,90	
	<b>Среднее</b>	<b>27,5</b>	<b>3,2</b>	<b>0,33</b>	<b>0,07</b>	<b>0,91</b>	
10. NPK + CaSO <sub>4</sub>	2015	29,7	3,27	0,38	0,058	0,93	
	2016	25,9	2,9	0,27	0,062	0,85	
	<b>Среднее</b>	<b>27,8</b>	<b>3,1</b>	<b>0,33</b>	<b>0,06</b>	<b>0,89</b>	
ПДК		50	30	0,5	0,1	5,0	
НСР05	2015	Фактор А	1,52	0,09	0,055	0,005	0,087
		Фактор В	0,96	0,06	0,035	0,003	0,055
	2016	Фактор А	0,38	0,13	0,008	0,003	0,025
		Фактор В	0,24	0,08	0,005	0,002	0,016