МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка» - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха»

На правах рукописи

ПЕТРОВЦЕВА НАТАЛЬЯ АЛЕКСАНДРОВНА

ВЛИЯНИЕ ДОЗ И СРОКОВ ВНЕСЕНИЯ АММИАЧНОЙ И КАЛИЙНОЙ СЕЛИТРЫ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ РЖИ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

Специальность 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:

доктор биологических наук

Пасынкова Елена Николаевна

Белогорка – 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ…….....4
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА (обзор литературы) …… 12
1.1 Народнохозяйственное значение озимой ржи…… 12
1.2 Ботанические и биологические особенности озимой ржи……..13
1.3 Особенности минерального питания и современный подход к системе удобрения озимой ржи……..16
1.4 Влияние азотного и калийного питания на урожайность и другие хозяйственно-полезные признаки озимой ржи…… 22
Выводы по главе……25
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ……..27
2.1 Гидротермические условия в период проведения исследований…… 27
2.2 Условия и объекты исследования……..34
2.3 Схема опыта и методика проведения исследований……35
ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ АММИАЧНОЙ И КАЛИЙНОЙ СЕЛИТРЫ НА ЗИМОСТОЙКОСТЬ, УСТОЙЧИВОСТЬ К ПОЛЕГАНИЮ И УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕЛЕНОЙ МАССЫ И ЗЕРНА ОЗИМОЙ РЖИ……..……39
3.1 Влияние осеннего внесения минеральных удобрений на зимостойкость растений……..39
3.2 Влияние аммиачной и калийной селитры на полегание растений……..40
3.3 Влияние аммиачной и калийной селитры на урожайность зеленой биомассы…….....44
3.4 Влияние аммиачной и калийной селитры на урожайность зерна……...…….....47
Выводы по главе……57
ГЛАВА 4. ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ СТРУКТУРЫ УРОЖАЯ, ПОЛЕГАНИЕМ И УРОЖАЙНОСТЬЮ ЗЕРНА ОЗИМОЙ РЖИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ ПРИМЕНЕНИЯ АММИАЧНОЙ И КАЛИЙНОЙ СЕЛИТРЫ…….…….58
4.1 Зависимости между высотой растений, полеганием и урожайностью зерна……58
4.2 Зависимость урожайности зерна от основных элементов структуры урожая……62
Выводы по главе……76
ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ АММИАЧНОЙ И КАЛИЙНОЙ СЕЛИТРЫ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА И БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕРНА ОЗИМОЙ РЖИ……..77

5.1 Влияние аммиачной и калийной селитры на натуру зерна и величину показателя «число падения»…… 77
5.2 Влияние аммиачной и калийной селитры на содержание сырого белка в зерне и валовой сбор белка с урожаем зерна……82
5.3 Влияние аммиачной и калийной селитры на содержание крахмала в зерне……..……..88
5.4 Влияние аммиачной и калийной селитры на содержание сырого жира в зерне……90
Выводы по главе……92
ГЛАВА 6. ПОТРЕБЛЕНИЕ РАСТЕНИЯМИ ОЗИМОЙ РЖИ ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ ПРИМЕНЕНИЯ АММИАЧНОЙ И КАЛИЙНОЙ СЕЛИТРЫ … 94
6.1 Изменение содержания азота и калия в зеленой массе и в зерне……...……94
6.2 Хозяйственный вынос азота и калия основной продукцией при возделывании озимой ржи на зеленую массу и зерно ……...……99
6.3 Использование растениями азота и калия из удобрений на формирование урожая зеленой массы и зерна……..……103
6.4 Баланс азота и калия при различных дозах и сроках применения аммиачной и калийной селитры……..……..108
Выводы по главе……..113
ГЛАВА 7. ОКУПАЕМОСТЬ УДОБРЕНИЙ И ИХ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОЙ РЖИ НА ЗЕЛЕНУЮ МАССУ И ЗЕРНО……...……115
Выводы по главе……..123
ЗАКЛЮЧЕНИЕ……124
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ……128
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ……128
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……...129
ПРИЛОЖЕНИЕ А…… 151
ПРИЛОЖЕНИЕ Б……152
ПРИЛОЖЕНИЕ В……155
ПРИЛОЖЕНИЕ Г……156
ПРИЛОЖЕНИЕ Д……161
ПРИЛОЖЕНИЕ Е……164
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж……...170

ВВЕДЕНИЕ

Обеспеченность культурных растений полноценным минеральным питанием – один из основных вопросов агрохимической науки. Озимая рожь, будучи стратегически важной культурой России, заслуживает в этом плане особого внимания. Используемые сегодня агрохимические приемы при возделывании озимой ржи не обеспечивают полного раскрытия потенциала её продуктивности. Следствием этого является бытующее мнение об озимой ржи как слабо отзывчивой на удобрения культуре. Сегодня много внимания уделяется изучению микроудобрений и биологических препаратов, однако при недостаточной обеспеченности растений основными элементами минерального питания высокий урожай получить невозможно. Азот и калий входят в группу макроэлементов и содержатся в значительных количествах в растительных организмах. Азот входит в состав всех белков, нуклеиновых кислот, многих витаминов и ряда биологически важных веществ. Калий является потенциалобразующим элементом, необходим для поддержания осмотических функций клеток, входит в состав некоторых ферментов. Озимая рожь имеет самый высокий биологический вынос калия среди зерновых культур, возделываемых в Северо-Западном регионе РФ (Кондратенко и др., 2015; Харкевич и др., 2015).

Азот поглощается растениями в основном в виде ионов NO_3^- и NH_4^+, калий – в форме ионов K^+ (Битюцкий, 1999). При этом, большая часть азота и калия находится в почве в виде соединений, малодоступных для растений. Азот содержится главным образом в форме сложных органических веществ, а основная часть калия входит в нерастворимые алюмосиликатные минералы. Таким образом, общепризнанной является потребность в регуляции азотного и калийного питания растений с помощью удобрений. В то же время, нерациональное использование минеральных удобрений может привести к неблагоприятным экологическим последствиям, а также к низкой окупаемости затраченных на удобрение средств. Известно, что сорбционные свойства почвы по отношению к ионам NO_3^- и NH_4^+ ограничены, не потребленный растениями азот частично переходит в грунтовые

или поверхностные воды (Афанасьев и др., 2016; Петров и др., 2020). Что касается калия, многие культуры с развитой глубинной корневой системой, в том числе, озимая рожь, способны усваивать этот элемент из необменных форм до глубины 100 см. Однако для молодых растений низкое содержание обменного калия в поверхностных слоях почвы может быть неблагоприятным (Агеев и др., 2016).

Актуальность исследования. Озимая рожь – культура, имеющая важное стратегическое значение в обеспечении продовольственной безопасности. Анализ мирового рынка озимой ржи показывает тенденцию к росту, с планируемым увеличением рынка этой культуры к 2030 году на 21 % (Global rye market: www.mordorintelligence.com [эл. ресурс]). Однако в нашей стране в настоящее время площади посева озимой ржи сокращены, одной из причин этого явления может быть меньшая, чем у других зерновых, рентабельность культуры, что при высокой потенциальной урожайности современных сортов может быть обусловлено несовершенством существующих приемов возделывания озимой ржи, в частности – регулирования минерального питания удобрениями (Маркетинговое исследование российского рынка ржи 2024: www.ab-centre.ru [эл. ресурс]). В связи с изменившимися климатическими и экономическими условиями и появлением новых сортов озимой ржи интенсивного типа – высокоурожайных, но требовательных к уровню минерального питания – представляется важным корректировка принятой в Северо-Западном регионе системы удобрения этой культуры. При этом необходимо заново оценить целесообразность осеннего или весеннего применения удобрений и обоснованность внесения тех или иных доз азота и калия, исходя из реальной прибавки урожая, а также изучить эффективность применения калийного удобрения в разные сроки для повышения урожайности и качества зерна озимой ржи. Рациональное использование минеральных удобрений позволит более полно реализовать высокий генетический потенциал урожайности современных сортов озимой ржи (Чухина, 2019).

Цель исследований – определить эффективность осеннего и весеннего использования калийного удобрения совместно с азотным для увеличения урожайности зеленой массы и зерна, улучшения структуры урожая и качества зерна

различных сортов озимой ржи при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве.

Задачи исследований:

1. Изучить влияние различных доз и сроков применения аммиачной и калийной селитры на зимостойкость, устойчивость к полеганию и урожайность зеленой массы и зерна озимой ржи сортов Эврика и Волхова.

2. Выявить зависимости между элементами структуры урожая, степенью полегания и урожайностью зерна двух сортов озимой ржи при разных вариантах применения аммиачной и калийной селитры.

3. Изучить влияние различных доз и сроков применения аммиачной и калийной селитры на технологические качества и биохимический состав зерна озимой ржи.

4. Определить потребление растениями озимой ржи элементов минерального питания на формирование урожая при разных вариантах применения аммиачной и калийной селитры.

5. Установить окупаемость минеральных удобрений и их экономическую эффективность при возделывании озимой ржи на зеленую массу и зерно.

Степень разработанности темы. Изучение влияния различных доз и сроков внесения минерального азота под озимую рожь в Северо-Западном регионе России за последние десять лет проводилось рядом исследователей – в составе сложных минеральных удобрений или в виде аммиачной селитры под основную обработку почвы или при проведении осенних и весенних подкормок (Жуков и др., 2015; Усова и др., 2015; Чухина и др., 2016, 2019, 2022; Суров и Чухина, 2017; Володина и др., 2019; Шпанев и Фесенко, 2019, Шпанев и др., 2021; Шайкова и др., 2020; Волкова, 2022, 2023). При этом показано, что, подобно результатам исследований, полученным в других регионах, озимая рожь среди остальных зерновых культур показывает сравнительно низкую отзывчивость на улучшение минерального питания путем внесения удобрений под основную обработку почвы и под предпосевную культивацию, гораздо лучше реагируя на внесение минеральных удобрений в период вегетации (Завьялова и Шишков, 2020; Шпанев и др., 2021).

В упомянутых выше исследованиях подтвержден высокий биологический вынос калия растениями озимой ржи (Шайкова и др., 2022). При этом применение калийных удобрений под озимую рожь изучалось только в составе сложных удобрений или в виде хлористого калия и только при основном (предпосевном) внесении (Жуков и др., 2015; Волкова, 2023), тогда как установлено, что озимая рожь именно в фазе весеннего кущения максимально интенсивно поглощает такой элемент питания, как калий (Завьялова и др., 2021). Следует также отметить, что широко применяемый в качестве калийного удобрения хлористый калий содержит значительное количество хлора, негативное влияние которого нельзя исключать при основном внесении под озимые культуры, особенно при высоких дозах. Однако, работы по изучению воздействия калия без применения других элементов минерального питания, кроме азота, а также влияние калийного удобрения при весеннем внесении на урожайность озимой ржи, структуру урожая и его качество в почвенно-климатических условиях Северо-Западного региона отсутствуют.

Объекты исследования: растения двух сортов озимой ржи (*Secale cereal* L.) Волхова и Эврика селекции Ленинградского НИИСХ.

Предмет исследования – азотное и калийное питание растений озимой ржи с применением различных доз и сроков внесения аммиачной и калийной селитры. Особое внимание уделялось варьированию урожайности зелёной массы и урожайности и изменениям качества зерна, а также выявлению основных закономерностей в изменении структуры урожая под влиянием калийной селитры.

Научная новизна. На дерново-подзолистой, легкосуглинистой почве, характеризующейся промывным типом водного режима, изучено влияние различных сроков и доз внесения калийного удобрения в виде калийной селитры на фоне трех суммарных доз азота при возделывании двух сортов озимой ржи. Показано, что осеннее внесение калия при всех изученных дозах нецелесообразно, так как зимостойкость растений обоих сортов озимой ржи при этом существенно не изменялась по сравнению с контролем, а рентабельность производства зеленой массы и зерна озимой ржи в вариантах с внесением калийного удобрения осенью была существенно ниже, чем в вариантах с внесением калия весной.

Выявлено, что при весеннем внесении калийной селитры существенно увеличивается урожайность зерна и сбор зеленой массы обоих сортов озимой ржи Эврика и Волхова по сравнению с осенним ее применением. Так, при весеннем внесении калийной селитры максимальная прибавка урожая зерна по сравнению с контролем у сорта Волхова получена при внесении $К_{80}$ и составила 1,57 т/га, у сорта Эврика – при внесении $К_{120}$ и составила 1,29 т/га, а урожая зеленой массы – при внесении $К_{120}$ как у сорта Волхова, так и у сорта Эврика и составила 5,92 т/га и 6,23 т/га в.с.в. соответственно. При осеннем внесении калийной селитры максимальная прибавка урожая зерна по сравнению с контролем у обоих сортов озимой ржи была практически одинакова и составила 1,06 у сорта Волхова и 1,07 т/га у сорта Эврика, а зеленой массы – 5,23 и 5,39 т/га в.с.в. соответственно.

Установлено, что увеличение урожая зерна при весеннем внесении аммиачной и калийной селитры по сравнению с вариантами с весенним внесением только одной аммиачной селитры происходило у обоих сортов за счет увеличения густоты продуктивного стеблестоя на 10–24 %, а также массы зерна с одного колоса у сорта Волхова (за счет увеличения числа зерен в нем) на 15–20 %, при этом существенных изменений величины массы 1000 зерен у обоих сортов озимой ржи не отмечено. Показано, что весеннее внесение калийной селитры совместно с аммиачной способно нивелировать отрицательное влияние повышенных доз азота на качество зерна, увеличивая его натуру и крахмалистость.

Установлено, что более экономически эффективным в почвенно-климатических условиях Ленинградской области является возделывание озимой ржи для получения зеленой массы, чем на зерно. При этом максимальная окупаемость минеральных удобрений прибавкой урожая зеленой массы у сорта Волхова составила 95, у сорта Эврика – 88 кг в.с.в. / кг д.в., а при возделывании озимой ржи на зерно на фоне минимальных доз минеральных удобрений их окупаемость прибавкой урожая составила 13 и 19 кг/кг д.в. у сортов Эврика и Волхова соответственно. Оптимальный баланс между окупаемостью удобрений зерном и сохранением исходного уровня плодородия дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы складывался при единовременном весеннем внесении

аммиачной и калийной селитры в дозе $N_{60}К_{80}$ у сорта Волхова и $N_{90}К_{120}$ у сорта Эврика.

Теоретическая и практическая значимость исследований. Теоретическая ценность работы заключается в получении новых знаний по эффективности осеннего и весеннего применения аммиачной и калийной селитры под озимую рожь, возделываемую на дерново-подзолистой, легкосуглинистой почве, характеризующейся промывным типом водного режима.

Практическая значимость исследований состоит в оценке влияния разных сроков внесения аммиачной и калийной селитры при разных уровнях азотного питания на урожайность и качество зерна двух различных сортов озимой ржи. Установлено, что осеннее внесение калия в виде калийной селитры в дозах $К_{40}$, $К_{80}$ и $К_{120}$ не оказывало существенного влияния на зимостойкость и урожайность растений озимой ржи, что позволяет скорректировать систему удобрения культуры в пользу весеннего внесения калийных удобрений с целью экономии ресурсов и повышения рентабельности возделывания озимой ржи в почвенно-климатических условиях Ленинградской области. Выявлено положительное влияние совместного весеннего внесения азота и калия на урожайность зерна озимой ржи без снижения его качества, а также показана высокая экономическая эффективность возделывания озимой ржи на зеленую массу. Полученные результаты могут быть использованы при разработке элементов усовершенствованной системы применения удобрений при возделывании озимой ржи с целью получения зерна или зеленой массы.

Методы исследований. Исследования проведены на базе Ленинградского НИИСХ «Белогорка» – филиала ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» в соответствии с существующими методиками полевого опыта (Доспехов, 1985) с использованием традиционных и современных методов анализа. Анализы почвы, надземной массы и зерна обоих сортов озимой ржи проведены в отделе агрохимии Ленинградского НИИСХ «Белогорка», а также в аккредитованной аналитической лаборатории АФИ по соответствующим ГОСТам и принятым в агрохимических исследованиях методикам. Полученные экспериментальные данные обработаны

методами парного корреляционного и множественного регрессионного анализа с использованием пакета статистических программ Statgraphics Plus for Windows, версия 5.0 и дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову (1985) с использованием компьютерной программы Microsoft Offfice Excel 2010.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Эффективность различных доз и сроков применения аммиачной и калийной селитры в изменении зимостойкости, устойчивости к полеганию и формировании урожайности зеленой массы и зерна озимой ржи сортов Эврика и Волхова.

2. Закономерности изменения основных элементов структуры урожая сортов озимой ржи под действием различных доз и сроков применения аммиачной и калийной селитры и их связь с урожайностью зерна.

3. Изменение технологических качеств и биохимического состава зерна двух сортов озимой ржи под действием различных доз и сроков применения аммиачной и калийной селитры.

4. Хозяйственный вынос зеленой массой и зерном и баланс азота и калия при возделывании различных сортов озимой ржи.

5. Окупаемость аммиачной и калийной селитры прибавкой урожая и экономическая эффективность возделывания озимой ржи на зеленую массу и зерно в почвенно-климатических условиях Ленинградской области.

Структура и объём диссертации. Диссертация изложена на 172 страницах компьютерного текста и содержит введение, обзор литературы, экспериментальную часть из 7 глав, заключение, предложения производству, список литературы и приложения. Диссертация включает 52 таблицы, 24 рисунка, 7 приложений. Список литературы включает 172 источника, в том числе 20 – зарубежных авторов.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Исследования проведены в 2019–2021 гг. в соответствии с планом опытно-экспериментальной работы, рассмотренным и утвержденным на заседании Ученого совета Ленинградского НИИСХ «Белогорка» – филиала ФГБНУ «ФИЦ

картофеля имени А.Г. Лорха». Все технологические операции при проведении полевых опытов выполнялись соответственно рекомендациям, принятым для почвенно-климатических условий Ленинградской области. Достоверность полученных результатов обеспечена проведением полевого опыта в соответствии с классическими методами (Доспехов, 1985) и статистической обработкой экспериментальных данных. Основные положения диссертации представлены на международных научных конференциях: «Агробиотехнология–2021» (Москва, 2021), «Аграрная наука – сельскохозяйственному производству России» (СПб, 2023), «Международная научно-практическая конференция, посвященная 120-летию СПбГАУ» (Пушкин, 2024).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 7 печатных работ, из них 3 – в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Личный вклад автора. Автором проведены анализ и обобщение литературных источников, на основании чего обоснована актуальность темы, определены цель и задачи исследования. Все этапы исследования, включая постановку и проведение полевых опытов, анализ и статистическую обработку экспериментальных данных, проведены при непосредственном участии автора. Самостоятельно проведен учет урожайности, отбор проб, определение структуры урожая, расчет основных показателей экономической эффективности. Полученные результаты обобщены и систематизированы автором. Подготовлены тезисы и доклады на конференциях, опубликованы статьи, в том числе в изданиях, входящих в перечень ВАК и базу Scopus. На основе полученных результатов сформулированы научные положения, выводы и рекомендации производству, подготовлена рукопись диссертации.

Благодарности. Автор искренне благодарит научного руководителя Пасынкову Е.Н. за помощь в проведении исследований и оформлении диссертационной работы, Пасынкова А.В. – за ценные советы научного и методического характера, а также сотрудников Ленинградского НИИСХ «Белогорка» за помощь в проведении полевых опытов и аналитических работ.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА (обзор литературы)

1.1 Народнохозяйственное значение озимой ржи

Озимая рожь – распространенная зерновая культура, её возделывают во многих странах и области ее применения весьма разнообразны (Петрович, 2019; Мелешкина и Бундина, 2020; Кузьминых и Горохов, 2024). Рожь используют как зеленый корм для всех видов сельскохозяйственных животных и птицы (Абашев и др., 2009; Лопаткина и Ленточкин, 2012; Лапшин, 2016; Потапова и Зобнина, 2018; Валитов и др., 2024), а также как концентрированный корм для крупного и мелкого рогатого скота. Общеизвестно, что зерно ржи более богато, чем пшеница, содержанием ряда ценных аминокислот, в первую очередь лизина, и является хорошей добавкой в корм для молочного и мясного скота (Phillips et al, 2017; Жестянова и др., 2024; Михайлова и др., 2024; Сологуб, 2024), а при использовании определенных технологий приготовления кормов – для домашней птицы и свиней (Bedford, 1995; Boros et al, 2002; Марон и Безгодов, 2022; Вильке, 2024; Егоров и Егорова, 2025). В настоящее время разработаны технологии производства из зерна ржи патоки – незаменимого продукта для животноводства (Булатов и др., 2022; Савиных и Казаков, 2024).

Значительный интерес зерно озимой ржи представляет для диетологов, как перспективный продукт в системе здорового питания человека (Cooper et al, 2015; Крутова и Некрасова, 2024; Лесовская и Кабак, 2024; Цехомский и др., 2024; Шевченко и др., 2024). В структуре белков зерна ржи альбумины и глобулины суммарно занимают 55 %, что в три раза больше, чем в белках пшеницы. Эти белки имеют тесную функциональную связь с альбуминами и глобулинами белков крови человека. Оригинальное сочетание биологических, питательных и функциональных свойств белков зерна ржи делают их важными и незаменимыми в питании человека (Скрябин и др., 2022; Nordin, 2022; Приходько и Красноштанова, 2024; Koistinen, 2024).

Также рожь известна как сидерат, применяемый как в одновидовом посеве, так и в смеси с бобовыми травами, особенно в качестве компонента комплексной программы борьбы с сорняками (Lawson, 2015; Werle et al, 2018; Flood, 2019; Лаврова, 2024), а также для уменьшения вымывания подвижных форм азота из почв (Османьян, 1999; Kuo, 2001; Мамаева, 2005; Malone, 2018) и для улучшения качества урожая яровых культур и картофеля (Логинов и Казак, 2016; Everett et al, 2019; Данилов и Авдеенко, 2020; Farzadfar, 2021).

Анализ мирового рынка озимой ржи показывает тенденцию к росту, с планируемым увеличением рынка этой культуры к 2030 году на 21 % в противовес существенному снижению площадей возделывания озимой ржи в России. На рост рынка влияют глобальные изменения климата, растущая популярность функционального питания, стабильный спрос со стороны спиртового производства, а также включение озимой ржи в программы по использованию сидеральных культур. Самый большой рынок на сегодня – это страны Европы, максимально быстро развивающийся – страны Азиатско-Тихоокеанского региона (Global rye market: www.mordorintelligence.com [электронный ресурс]).

1.2 Ботанические и биологические особенности озимой ржи

Морфология растений. Рожь озимая представляет собой разновидность полиморфного вида *Secale cereale* L., который включает в себя все формы культурной и сорно-полевой ржи (Кобылянский, 1982).

Стебель ржи – полая соломина, состоит из 3–7 междоузлий. Нижнее междоузлие всегда самое короткое, верхнее имеет максимальную длину. Высота растений у ржи – признак, сильно изменяющийся в зависимости от условий произрастания. Толщина соломины 2,5–4,0 мм, в нижней своей части может достигать 7 мм. Каждое растение формирует 1–8 стеблей (до 12–15 у отдельно стоящих растений).

Корневая система, как у всех злаков, мочковатая, у взрослых растений достигает глубины 120–130 см (до 200 см), но основная масса корней (90 %)

находится на глубине 25–30 см. Лист состоит из влагалища и листовой пластинки с язычком и ушками в её основании. Пластинка листа цельная, линейная, шириной 5–15 мм, длиной 60–300 мм. Мелкие цветки ржи собраны в соцветие сложный колос незаконченного типа (без верхушечного колоска), число колосков в котором колеблется от 12 до 50. Каждый цветок имеет наружную и внутреннюю цветковые чешуи, три тычинки и один пестик с двулопастным рыльцем. Наружная чешуя зачастую имеет длинный вырост – ость, хотя существуют и безостые разновидности. Рожь – ветроопыляемое растение, с очень низким процентом самофертильности (0–6 %) из-за генетически контролируемого подавления роста пыльцевых трубок на собственных рыльцах (Кобылянский, 1982; Гончаренко, 2014).

Плод – зерновка продолговатой формы, длиной от 5 до 14 мм, разнообразной окраски. Масса тысячи зерен колеблется от 14 до 50 г (Кобылянский, 1982).

Рост и развитие растений. Озимая рожь – однолетнее растение с озимым типом развития. В Северо-Западном регионе РФ она является наиболее зимостойкой из всех выращиваемых в регионе озимых зерновых культур. Зерно ржи начинает прорастать при температуре 1–2°С, оптимальная температура для прорастания – 20–25°С, при которой всходы появляются через 5–8 дней после посева (Соколова и др., 2019).

После завершения роста третьего листа растения переходят к кущению, которое начинается осенью и продолжается весной. В период осеннего кущения происходит яровизация, необходимая для закладки генеративных органов. Также происходит закаливание растений, в этом процессе выделяют две фазы. Первая фаза – накопление углеводов, достаточное количество которых способствует устойчивости к низким температурам (Hommo, 1996; Акимова, 2007). Для этого процесса необходимы хорошее освещение и положительные температуры днем в сочетании с пониженными температурами в ночное время. Вторая фаза – снижение интенсивности дыхания с наступлением устойчивых отрицательных температур в осенний период. Этот процесс имеет обратимый характер, поэтому потепление в зимнее время сопровождается усилением дыхания и снижением содержания

сахаров. Ранняя активация физиологических процессов в конце периода зимовки приводит к снижению зимостойкости растений (Кузьмич и др., 2008; Поморцев, 2013).

Озимая рожь сохраняет аэробный тип дыхания и в состоянии зимнего покоя (до температуры в узлах кущения -10°С). Более морозостойкие сорта поглощают кислород активнее в период зимовки, чем менее морозостойкие. При температуре в узлах кущения ниже -10°С растения ржи начинают переходить к анаэробному типу дыхания, в процессе которого накапливаются токсичные продукты обмена, и менее морозостойкие сорта переходят к анаэробиозу быстрее (Рубанюк, 1966; Поморцев 2013). Способность озимой ржи к весеннему кущению имеет важное значение, так как обеспечивает восстановление стеблестоя, изреживаемого при неблагоприятных условиях зимовки. При этом установлено, что озимая рожь именно в фазе весеннего кущения наиболее интенсивно поглощает такие элементы питания, как азот и калий (Завьялова и др., 2021).

По окончании фазы кущения начинается рост генеративного стебля – фаза трубкования. К середине этой фазы завершается формирование всех частей колоса, окончанием фазы считается появление верхушки колоса из влагалища верхнего стеблевого (флагового) листа. К началу колошения высота растений составляет 50–60 % от их полной высоты, к моменту цветения – 90 %. Цветение начинается через 50–60 дней после весеннего возобновления вегетации и в Северо-Западном регионе приурочено обычно к началу июня. Озимая рожь – строго перекрестноопыляемое растение, и неблагоприятные для опыления условия (дождливая или, наоборот, слишком жаркая и сухая погода) приводят к формированию череззерницы, которая может достигать 30–40 % (Кобылянский, 1982, Пугач и др., 2000).

С началом формирования зерна начинается интенсивный отток ассимилятов из листьев и стебля в завязи. Различают три фазы спелости зерна. В фазу молочной спелости идет формирование зародыша, к концу фазы зёрна достигают окончательного размера. В фазу восковой спелости водорастворимые вещества в зерне переходят в основном в нерастворимые запасные формы, содержание воды снижается до 25–30 %, зерно достигает физиологической зрелости. В фазу полной

спелости содержание воды снижается до 14–18 %, наступает период физиологического покоя, который у озимой ржи значительно короче, чем у других зерновых культур, что создает риск прорастания зерна прямо в колосе. Уборку зерна проводят в начале фазы полной спелости, что в Северо-Западном регионе приходится на первую-вторую декаду августа (Кобылянский, 1982).

Особенности химического состава зерна ржи. Зерно озимой ржи содержит (в % от сухой массы) в среднем 11 % белка, 1,8 % жира, 1,5 % клетчатки, 1,7 % золы. При этом культура проявляет б**о**льшую изменчивость в накоплении крахмала и клетчатки, а также сырого жира, чем озимые пшеница и тритикале. Короткостебельные сорта озимой ржи, созданные на доминантно-моногенной основе, характеризуются меньшей крахмалистостью зерна (Гончаренко, 2010; Кондратенко и др., 2015; Иванова, 2023). Особенностью озимой ржи является высокое содержание в зерне калия – около 1,5 %. Это больше, чем в пшенице и тритикале на 4,13 % и 20,86 % соответственно (Голенков, 1971; Тиунов и Глухих, 1972; Голенков, 1973; Кондратенко и др., 2015; Харкевич и др., 2015).

1.3 Особенности минерального питания и современный подход к системе удобрения озимой ржи

Озимая рожь, несмотря на известную неприхотливость и устойчивость к неблагоприятным факторам среды, предъявляет определенные требования к условиям произрастания, в частности – к уровню обеспеченности основными элементами питания (Kim, 2001; Feng, 2002; Турко, 2024).

В начальной фазе развития, от появления всходов до ухода в зиму, растениям озимой ржи необходимо умеренное азотное питание. При избыточном количестве азота в этот период корневая система развивается слабее, чем надземная, происходит сильное кущение, интенсивно нарастает вегетативная масса, снижается устойчивость к отрицательным температурам и патогенам, в том числе, к возбудителю снежной плесени. При недостатке же азота растения уходят в зиму слаборазвитыми, что также может существенно снижать их зимостойкость

(Карманенко, 1993; Акимова, 2007; Марьина-Чермных и Хисматуллина, 2016). В научной литературе имеются данные о том, что осеннее внесение умеренных доз азотных удобрений не влияет на зимостойкость озимых культур, и накопление сухого вещества в растениях в осенне-зимний период определяется не уровнем питания, а величиной инсоляции и шириной листа растительного организма (Vos et al, 1997; Соколова и др., 2019). Таким образом, вопрос определения дозы азотного удобрения, которая будет способствовать оптимальному развитию растений озимой ржи перед уходом в зиму и успешной их перезимовке, а также целесообразности внесения азотных удобрений в осенний период остаётся открытым.

Хорошо известна положительная роль калийных удобрений в повышении морозостойкости растений. В опытах с озимой пшеницей калийные удобрения снижали интенсивность ростовых процессов, тормозили трату сухого вещества на дыхание в период перезимовки. По озимой ржи имеются данные о том, что наивысшая сохранность растений после перезимовки наблюдалась в вариантах с предпосевным внесением фосфорно-калийных удобрений, как в присутствии, так и в отсутствии подкормок азотом (Карманенко, 1993; Акимова, 2007).

Общеизвестно, что азот в почве находится в основном в виде органических соединений разной степени разложения, а минеральный азот составляет лишь 1–3 % от общего количества азота в почве. Запасы азота в почве пополняются за счет животного и растительного опада, а также за счет деятельности свободно живущих и клубеньковых азотфиксирующих микроорганизмов и за счет поступления с атмосферными осадками. Потери (обратимые и необратимые) азота почвы происходят за счет таких процессов, как иммобилизация, выщелачивание, потери за счет образования летучих соединений и необменное поглощение почвой. Доступными источниками азота для растений являются соли азотной и азотистой кислот, аммиачные формы азота и некоторые органические соединения – мочевина и аминокислоты. Калий в почве содержится в основном в составе первичных и вторичных минералов в труднодоступной для растений форме. В Северо-Западном регионе первичные минералы – это полевые шпаты (ортоклаз, микроклин), калий

которых очень медленно, но переходит в доступную растениям форму благодаря действию их корневых выделений и деятельности почвенных микроорганизмов. Вторичные минералы представлены в основном каолинитом и гидрослюдами, последние способны фиксировать значительные количества калия в необменной форме, особенно активно этот процесс идет при переменном смачивании и подсушивании почвы. Главный источник калийного питания растений – калий почвенных коллоидов (обменный калий). Также доступным растениям становится калий из органического вещества после его минерализации. Изучение калийного режима почв и калийное питание растений проводил не один ряд исследователей (Прокошев, 1962; Якименко, 2007, 2014; Иванова и др., 2014; Никитина и др., 2014, Никитина, 2016; Агеев и др., 2016; Дзюин и Дзюин, 2016; Коренев и Воробьева, 2016; Артемьева и др., 2019; Мязин и др., 2019), но и сегодня этот вопрос остается актуальным (Завьялова и др., 2021; Никитина, 2021; Якименко, 2023; Молявко и др., 2024; Шафран, 2024).

Рекомендуемая в настоящее время в Северо-Западном регионе система удобрения озимой ржи включает осеннее внесение полного минерального удобрения и весеннюю азотную подкормку (Иванов и др., 2014). Однако целесообразность применения дополнительных количеств фосфора под посев озимой ржи на средне- и высокоокультуренных пахотных угодьях региона спорна, так как более поздние публикации этих же и других авторов показывают, что в отношении фосфора на среднеокультуренных дерново-подзолистых почвах Северо-Запада России для озимой ржи достаточно последействия органических или минеральных удобрений, вносимых под предшественники (Иванов и др., 2015; Глазов и др., 2017; Суров и Чухина, 2017; Капранов и др., 2024). Также необходимо учитывать, что особенностью почв Ордовикского плато, занимающего большую часть Гатчинского района Ленинградской области, является их расположение на карбонатной подпочве. В присутствии карбонатов при pH почвы < 8 труднорастворимые фосфаты железа и алюминия переходят в более доступные для растений фосфорнокислые соли кальция и питание растений фосфором улучшается (Пестряков, 1973).

Что же касается азотных и калийных удобрений, то здесь следует принимать во внимание следующее. Озимая рожь более других зерновых нуждается в достаточной обеспеченности калием, биологический вынос этого элемента растениями ржи выше, чем азота, отношение N : K составляет 1,0 : 1,2–1,4 (Лапа и др., 2016; Шайкова и др., 2022). При этом коэффициент использования калия из почвы составляет 7–17 %, из удобрений – 40–70 %. Для азота эти коэффициенты составляют 22–70 % и 40–60 % соответственно (Семенов, 1999; Исмагилов и др., 2001; Цыбулька и др., 2008; Зинковская, 2015). В то же время показано, что вносимый осенью калий быстро мигрирует в нижележащие горизонты и не может эффективно использоваться растениями (Якименко, 2007; Артемьева и др., 2019), так как большая часть его (примерно до 70,0 %) закрепляется в необменной форме, причем процесс усиливается с увеличением дозы вносимых удобрений (Завьялова и др., 2021; Якименко, 2023). Оставшиеся легкодоступные формы калия подвержены вымыванию, при этом их потери максимальны по сравнению с остальными элементами минерального питания, выносимыми как с жидким, так и с твердым стоком (Якутина и др., 2009; Агеев и др., 2016). В то же время, имеются экспериментальные данные, что степень подвижности обменного калия снижается с утяжелением гранулометрического состава почвы, а при использовании высоких доз калия с удобрениями отмечено накопление наиболее подвижной гидролизуемой фракции необменного калия и отсутствие более прочного его закрепления почвой (Никитина и др., 2014; Никитина, 2016).

Известно, что известкование дерново-подзолистых почв приводит к увеличению потребности сельскохозяйственных культур в калии, что связано со снижением подвижности усваиваемых растениями форм калия в почве при внесении извести, а также с нарушением нормального соотношения K : Ca в растениях в связи с увеличением поступления в них кальция (Прокошев, 1962; Мязин и др., 2019). Усиление калийного питания за счет внесения удобрений в большинстве случаев снижает концентрацию Ca^{2+} в органах растений (Агеев и др., 2016). Проблема фактического калийного голодания растений при аналитических высоких показателях содержания калия в почве является дискуссионной и

поднималась рядом авторов (Якименко, 2007; Иванова и др., 2014; Агеев и др., 2016; Молявко и др., 2024). Показано, что внесение калийных удобрений даже на почвах с высоким содержанием калия способствует росту урожайности сельскохозяйственных культур и существенному повышению качества продукции (Никитина, 2021). Применительно к озимой ржи вопросу калийного питания до сих пор уделялось сравнительно мало внимания, хотя имеются данные, что на дерново-подзолистых почвах отрицательный баланс по калию при выращивании озимой ржи имеет место при любых технологиях возделывания при внесении калийных удобрений дозами, рассчитанными на прогнозируемый урожай (Капранов и др., 2024).

Дискуссионным остается и вопрос об оптимальном способе использования азотных удобрений под озимую рожь, в роли которых наиболее широко в сельскохозяйственном производстве применяют аммиачную селитру.

При исследованиях подвижности азота удобрений показано, что суглинистые почвы имеют невысокую сорбционную способность в отношении ионов аммония, а значительная часть нитрат-ионов (10 % и более) с атмосферными осадками перемещается в грунтовые воды или с поверхностным стоком (Афанасьев и др., 2016; Петров и др., 2020; Башкин, 2022), что при осеннем внесении не только значительно снижает эффективность удобрений, но и ведет к загрязнению близлежащих водоемов и их эвтрофикации, а попадание нитратов в грунтовые воды может приводить к загрязнению источников питьевой воды. При этом в почвах с промывным типом водного режима (к которым относятся и подзолистые и дерново-подзолистые почвы Ленинградской области) внесение аммиачной селитры осенью способствует вымыванию ионов кальция и магния, оказывая подкисляющее действие (Haynes, 1987; Макаров, 2013; 2016). Наиболее распространенные сложные минеральные удобрения при их систематическом внесении приводят к подкислению дерново-подзолистых почв (Завьялова и др., 2021).

Наиболее низкое относительное участие (33 %) азота удобрений отмечалось при однократном их применении в ранневесеннюю подкормку, а дробное внесение

повышало долю азота удобрений в выносе с урожаем до 40 %. Однако, известно, что внесение азотных удобрений в поздневесенние сроки может вызвать в дальнейшем полегание растений (Цыбулька и др., 2008; Ненайденко и Ильин, 2017). Также отмечено, что дробное внесение азотных удобрений не имело преимущества перед однократным по действию на урожай зерна озимой ржи (Пашковская, 2024).

Источники азотного питания играют важную роль в регуляции ионного баланса растений и pH ризосферы. При нитратном питании скорость выделения корнями HCO_3^- выше, чем протонов, при аммонийном – наблюдается обратная зависимость. В кислой среде понижение значений pH ризосферы у растений, выращиваемых с использованием аммонийных источников питания, может быть причиной резкого торможения роста и продуктивности растений, обусловленного тем, что продуцируемые растением в апопласт протоны препятствуют поступлению в него катионов (Битюцкий, 1999). При этом для усвоения аммонийного азота необходима более низкая температура, чем для нитратного азота, что является общеизвестным фактом, особенно важным для понимания эффективности тех или иных удобрений в почвенно-климатических условиях Нечерноземья России. Так, имеются экспериментальные данные, полученные при проведении опытов с ячменем, что наиболее благоприятное воздействие оказывал минеральный азот, вносимый в форме калийной селитры (Кононов, 2011). В полевых опытах с озимой рожью было показано, что минеральный азот в фазе кущения, пришедшейся на холодную и дождливую погоду, был представлен в большей степени аммиачной, а не нитратной формой (Завьялова и др., 2021). Нитрат-ион играет большую роль в сигналинге у растений. По современным представлениям, наиболее распространенный рецептор нитрата в разных типах клеток и органах растений преимущественно сосредоточен в растущих верхушках корней и побегов и в цветочных почках, что определяет чувствительность этих органов к поступающему по проводящей системе нитрат-иону. При дефиците нитрата тормозится не только нарастание корней и побегов, но и цветение растений. При сочетании дефицита нитрата и избытка фотоассимилятов рост

растения тормозится, а его переход к генеративному развитию ускоряются (Никитин и Измайлов, 2019).

1.4 Влияние азотного и калийного питания на урожайность и другие хозяйственно-полезные признаки озимой ржи

Определение долевого участия фиксированных и случайных факторов в формировании урожая зерна на дерново-подзолистых суглинистых почвах показало, что на долю удобрений приходится около 50–70 % (Решетникова, 1993; Цибулько, 1995). При этом известно, что с возрастанием доз минеральных удобрений урожайность зерновых культур возрастает до определенного предела и прибавки урожая от каждой последующей дозы удобрений снижаются (Абашев и Светлакова, 2015; Жуков и др., 2015). Коэффициент использования растениями азота удобрений остается на высоком уровне (89 %) до дозы N_{80} (Дзюин и Дзюин, 2016). В то же время ряд авторов отмечает, что озимая рожь среди остальных зерновых культур характеризуется самой слабой отзывчивостью на улучшение минерального питания путем внесения удобрений под основную обработку почвы (Завьялова и Шишков, 2020; Шпанев и др., 2021). Так, прибавка урожая от применения $N_{30}P_{30}K_{30}$ находилась в пределах ошибки опыта, а внесение $N_{60}P_{60}K_{60}$ увеличивало сбор зерна с 3,11 до 4,02 т/га. При этом дальнейшее повышение доз минеральных удобрений не обеспечивало достоверного роста урожайности зерна. При использовании азотных удобрений в подкормку положительный эффект отмечался уже при внесении низкой их дозы N_{30}, причем урожайность в данном случае находилась на одном уровне с полученной в вариантах с более высокими дозами минеральных удобрений, внесенных под предпосевную культивацию, при этом рентабельность использования одной азотной подкормки оказывалась выше, чем полного минерального удобрения (Неволина, 2013; Попов и др., 2020). При этом срок весенней азотной подкормки должен определяться сроком наступления физической спелости почвы (Мурыгин и др., 2017).

В целом, оптимальной под озимую рожь признана доза азота в интервале 60–

90 кг/га действующего вещества, более высокие дозы оказывали депрессирующее воздействие на растения в засушливые годы и способствовали их сильному полеганию во влажные (Косолапова и Лейних, 2015; Рысев и др., 2018) при существенном ухудшении технологических и хлебопекарных качеств зерна и снижении рентабельности производства (Пасынков, 1994; Чайкин и др., 2013; Белоус, 2018; Абашев и др., 2020, Попов и др., 2020; Лыскова и Лыскова, 2023; Шишков и др., 2023).

Влияние калийного питания на урожайность озимой ржи изучено много слабее. Известно, что калийные удобрения могут оказывать существенное воздействие на величину урожая зерновых, в том числе и озимой ржи, при их совместном применении с азотными, а также в условиях засухи в период вегетации (Абашев и Светлакова, 2015; Никитина, 2021; Шафран, 2024). При этом эффект от использования калийных удобрений наиболее явно проявлялся при высоких их дозах (90–150 кг/га действующего вещества) (Коренев и Воробьева, 2016; Лапа и др., 2016). В опытах с пшеницей было показано, что более эффективным являлось единовременное, а не дробное внесение калийных удобрений. При этом было отмечено, что дополнительное калийное питание достоверно увеличивало коэффициент использования растениями азота удобрений с 16 % до 25,8–33,4 % (Турусов и др., 2020).

Известно, что урожайность зерна озимой ржи в большей степени определяется числом продуктивных стеблей на единице площади, чем остальными элементами структуры урожая (Пугач и др., 2000; Золотарева и Максимов, 2020; Шпанев и др., 2021; Беленков и др., 2024; Ермошкина, 2024). Показано, что применение азотных удобрений, в первую очередь, увеличивало число продуктивных стеблей на единице площади (Аюпов, 2005; Акимова, 2013; Мурыгин и др., 2016). При этом данные о влиянии азотной подкормки на другие показатели структуры урожая противоречивы. Так, ряд авторов отмечает, что дополнительное азотное питание способствовало увеличению высоты растений (Сорокина, 2019; Золотарева и Максимов, 2020), длины колоса и числа колосков в нем (Акимова, 2013), числа зерен в колосе (Аюпов, 2005; Золотарева и Максимов,

2020; Шпанев и др., 2021), массы зерна с колоса (Шпанев и др., 2021), при этом снижали массу 1000 зерен в большинстве вариантов (Аюпов, 2005; Лапа и др., 2016) или только при внесении сравнительно высоких доз удобрений (Цибулько, 1995; Попов и др., 2020). Другая часть авторов сообщают, что удобрения увеличивали массу 1000 зерен (Белоус, 2018; Исмоилов и др., 2024), третьи отмечают, что дополнительное азотное питание не оказывало достоверного влияния на структуру колоса и массу 1000 зерен (Исмагилов, 2001; Абашев и др., 2014; Попов и др., 2020; Пасынков и Пасынкова, 2023).

Влияние калия на структуру урожая озимой ржи практически не освещено. В литературе есть упоминание о том, что в опытах с пшеницей в вариантах с калием отмечалось большее число продуктивных стеблей и снижение числа стерильных колосков в колосе, при этом максимальный эффект отмечен в вариантах с внесением всей дозы калийных удобрений в одну подкормку (Турусов и др., 2020).

Что касается биохимического состава и качества зерна озимой ржи, то данные по влиянию на его показатели применяемых удобрений также неоднозначны. При сопоставимых дозах азота часть авторов сообщает, что с повышением доз вносимых удобрений увеличивалось содержание белка в зерне (Исмагилов, 2001; Аюпов, 2005; Акимова, 2013; Попов и др., 2020), снижалось содержание крахмала (Аюпов, 2005; Акимова, 2013), жира (Коренев и Воробьева, 2015), уменьшалось «число падения» (Аюпов, 2005; Шишков и др., 2024) и натура зерна (Пасынков, 1994; Шишков и др., 2024). Другая часть авторов отмечает увеличение содержания крахмала при повышении уровня азотного питания (Романова и др., 2014; Перегонцева и Перепичай, 2017; Бузунова, 2020; Завьялова и Шишков, 2020) и увеличение натуры зерна (Белоус, 2018; Исмоилов, 2024). Еще часть авторов сообщает, что содержание белка в зерне больше различалось по годам, чем по дозам вносимых азотных удобрений (Белоус и Адамко, 2014; Лапа и др., 2016; Воробьева и др., 2024). При этом «число падения» и натура зерна в большей степени зависело от погодных условий, чем от уровня азотного питания (Исмагилов, 2001; Пасынков, 2004; Пасынков и Пасынкова, 2015; Мурыгин и др., 2017; Шпанев и др., 2021; Лыскова и Лыскова, 2023).

Влияние калийных удобрений на качество и биохимический состав зерна злаков в недостаточной мере освещено в научной литературе. Имеются лишь фрагментарные данные, что в опытах с озимой рожью калийные удобрения снижали негативное действие повышенных доз азотных удобрений, в частности, на такой показатель, как натура зерна (Шишков и др., 2024). В опытах с пшеницей показано, что калийные удобрения оказывали положительное действие на содержание в зерне белков с высокой питательной ценностью (Исмагилов, 2001).

Выводы по главе

Анализ литературных источников показал, что озимая рожь является важной зерновой культурой, возделываемой во многих странах мира (Phillips et al, 2017; Петрович, 2019; Flood, 2019; Мелешкина и Бундина, 2020; Farzadfar, 2021; Nordin, 2022; Приходько и Красноштанова, 2024; Koistinen, 2024). Урожайность озимой ржи в значительной степени зависит от обеспеченности растений элементами минерального питания, из которых наиболее значимыми в почвенно-климатических условиях Нечерноземья России, включая Северо-Западный регион, являются азот и калий (Суров и Чухина, 2017; Петров и др., 2020; Никитина, 2021; Якименко, 2023; Капранов и др., 2024). Исследования по изучению эффективности внесения минерального азота под озимую рожь в Северо-Западном регионе России за последние десять лет проводились рядом исследователей в составе сложных минеральных удобрений и в виде аммиачной селитры под основную обработку почвы или при осенних и весенних подкормках (Усова и др., 2015; Чухина и др., 2016, 2019, 2022; Суров и Чухина, 2017; Володина и др., 2019; Шпанев и Фесенко, 2019, Шпанев и др., 2021; Шайкова и др., 2020; Волкова, 2023). При этом показано, что озимая рожь характеризуется низкой отзывчивостью на улучшение минерального питания путем внесения удобрений под основную обработку почвы и под предпосевную культивацию, гораздо лучше реагируя на внесение удобрений в подкормку в период вегетации (Завьялова и Шишков, 2020; Шпанев и др., 2021). Растения озимой ржи характеризуются сравнительно высоким выносом калия

(Кондратенко и др., 2015; Шайкова и др., 2022), при этом применение калийных удобрений под озимую рожь в Северо-Западном регионе изучалось только в составе сложных удобрений или в виде хлористого калия и только при предпосевном внесении (Жуков, 2015; Волкова, 2023). Установлено, что озимая рожь именно в фазе весеннего кущения максимально интенсивно поглощает такой элемент питания, как калий (Завьялова и др., 2021). Исследования по изучению эффективности весеннего внесения калийных удобрений при возделывании озимой ржи в почвенно-климатических условиях Северо-Западного региона в последнее время не проводились, что явилось основанием для проведения исследований в этом направлении.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые опыты проведены в 2019–2021 гг. на экспериментальном опытном поле Ленинградского НИИСХ «Белогорка» – филиала ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» (д. Белогорка, Гатчинского района, Ленинградской области).

2.1 Гидротермические условия в период проведения исследований

Климат Ленинградской области относится к переходному от умеренно-континентального к умеренно-морскому со среднегодовой температурой воздуха 4,8–6,0°С. Годовое количество осадков составляет 600–800 мм и превышает испарение (400 мм), что приводит к промывному типу водного режима наиболее распространенных здесь подзолистых и дерново-подзолистых почв (Гагарина и др., 1995). При этом значительная часть осадков, зачастую в виде дождя, приходится на период покоя озимых культур (рисунки 2.1.1, 2.1.2 и 2.1.3).

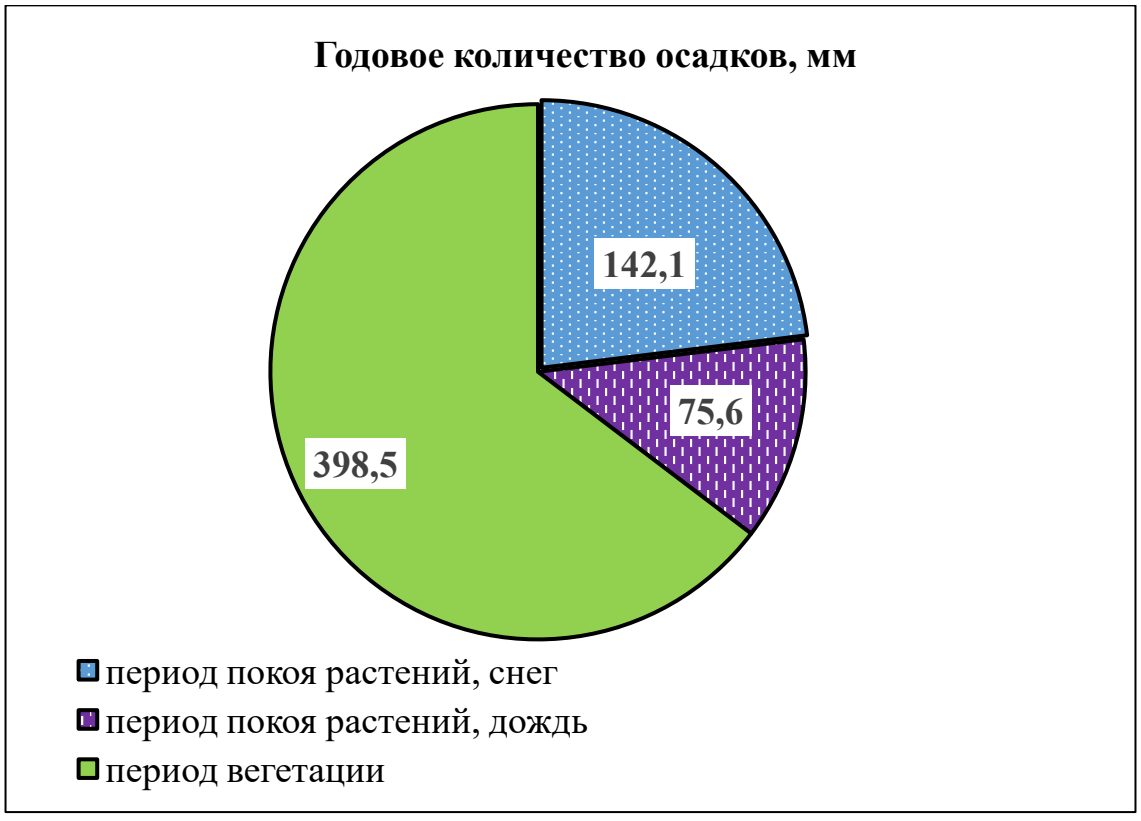


Рисунок 2.1.1. Распределение годового количества осадков, с сентября 2018 г. по август 2019 г.

Энергичному промыванию почвенно-грунтовой толщи способствует хорошая водопроницаемость пород – карбонатных валунных суглинков и известняков (Пестряков, 1973).

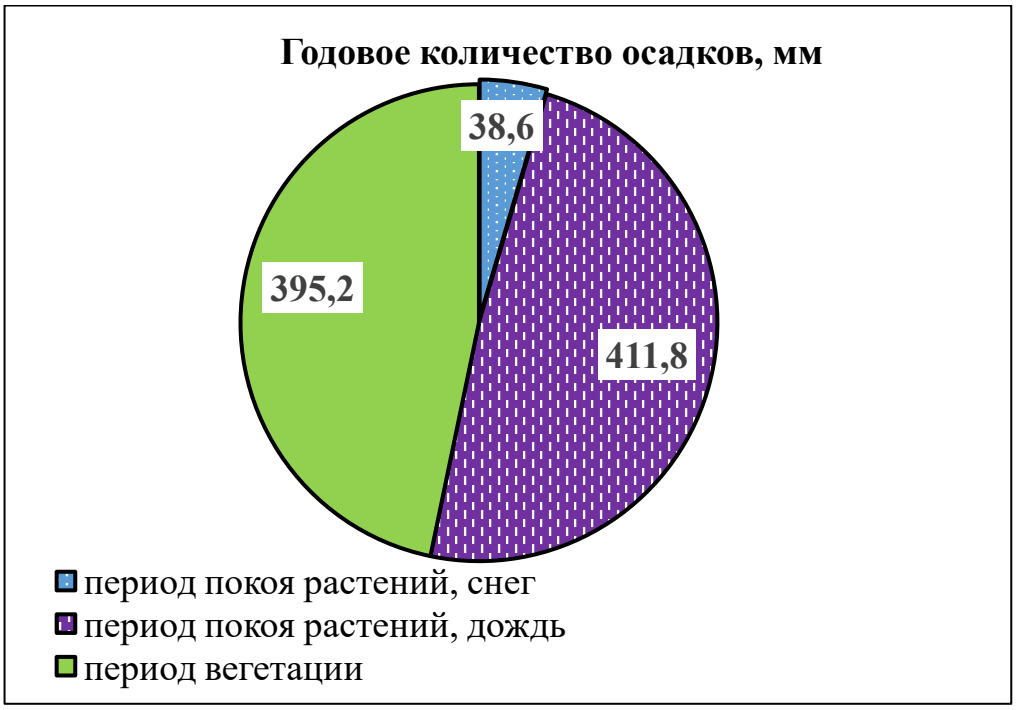


Рисунок 2.1.2. Распределение годового количества осадков, с сентября 2019 г. по август 2020 г.

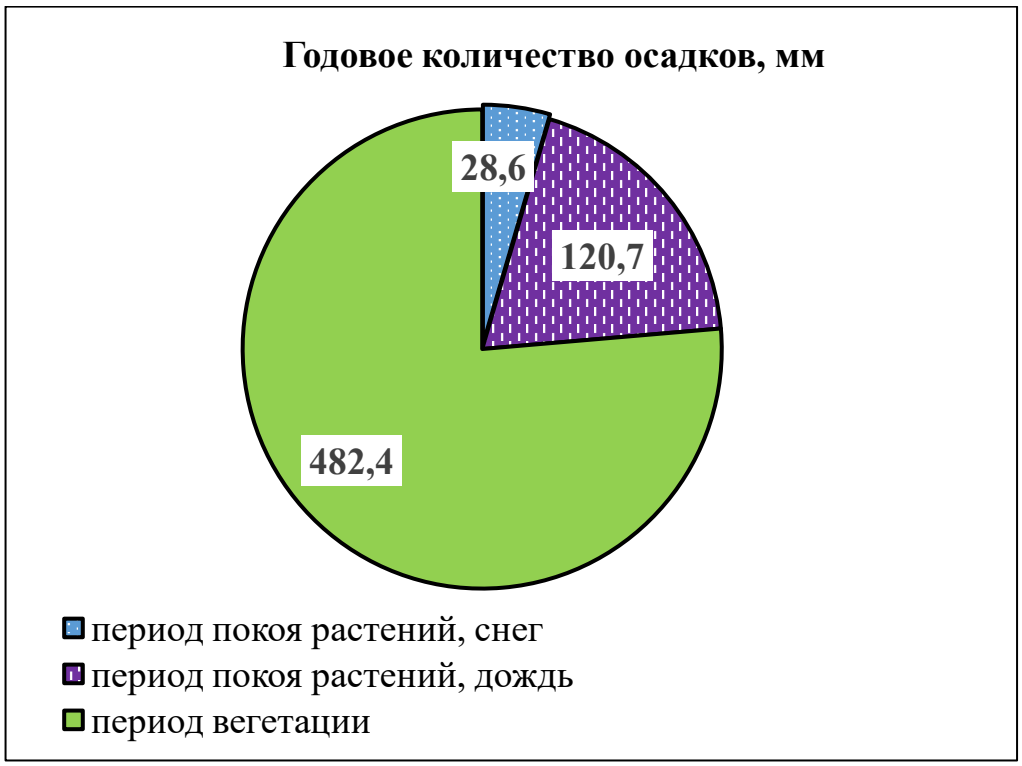


Рисунок 2.1.3. Распределение годового количества осадков, с сентября 2020 г. по август 2021 г.

Осенне-зимний период в первый год проведения полевого опыта (2018–2019 гг.) характеризовался теплой затяжной осенью, обычной в последнее время для Ленинградской области – снеговой покров установился только в конце ноября при незначительном промерзании почвы. В середине февраля почва под снегом полностью оттаяла, что способствовало гибели части растений озимой ржи от выпревания.

Гидротермические условия в период «посев–окончание осенней вегетации» в годы проведения исследований существенно различались (таблица 2.1). В первый год этот период характеризовался резким недостатком влаги (ГТК = 0,5).

Таблица 2.1 – Гидротермические условия и сумма активных температур в основные фенологические фазы развития озимой ржи, 2019–2021 гг.

Показатель	Посев – окончание вегетации	Возобновление вегетации – цветение	Цветение – созревание зерна
	2019 г.		
ГТК	0,5	1,5	2,1
Сумма активных температур, °С	240,4	270,3	757,8
	2020 г.		
ГТК	1,3	0,5	1,0
Сумма активных температур, °С	203,1	251,7	775,3
	2021 г.		
ГТК	0,9	2,5	0,3
Сумма активных температур, °С	233,0	263,5	840,7

Гидротермические условия весны и начала лета 2019 г. были стандартными для Ленинградской области (рисунки 2.1.4 и 2.1.5). Снег полностью растаял к концу марта. Возобновление вегетации отмечено 19 апреля, что соответствовало среднемноголетним срокам (15–25 апреля). Май был умеренно теплым и хорошо влагообеспеченным, растения быстро перешли к началу колошения. Учет урожая зеленой массы проведен 25 мая. Начало цветения отмечено 6 июня, что совпадало со среднемноголетними сроками прохождения фаз. Июль характеризовался пониженными температурами с выпадением значительного количества осадков, что

не благоприятствовало формированию высокого урожая зерна. Учет урожая зерна проведен 20 августа. Гидротермический коэффициент (ГТК) за период от возобновления вегетации до цветения составил 1,5, за период от цветения до уборки озимой ржи – 2,1, что характеризует эти периоды как периоды с избыточным увлажнением.

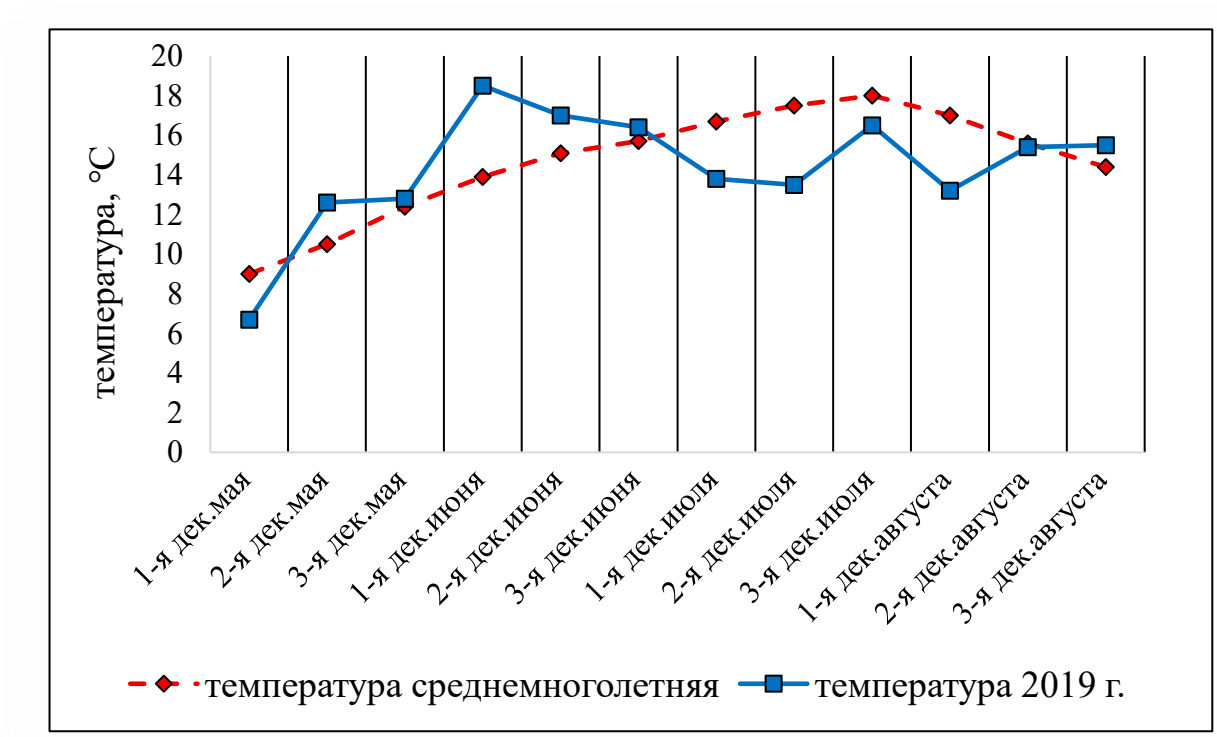


Рисунок 2.1.4. Температура воздуха, 2019 год

Осенне-зимний период 2019–2020 гг. отличался ранним наступлением холодов – после 15 сентября среднесуточная температура не превышала 9,5°С. Гидротермические условия в период «посев–окончание осенней вегетации» характеризовались нормальным увлажнением (ГТК = 1,3). Зима была необычайно теплой, с большим количеством осадков преимущественно в виде дождя, без устойчивого снегового покрова, что сопровождалось гибелью части растений озимой ржи от вымокания. Весеннее возобновление вегетации отмечено 22 апреля. Прохладный май привел к задержке развития растений, уборку и учет урожая зеленой массы проводили 5 июня, при этом начало цветения растений сдвинулось на 15 июня. Летние месяцы выдались теплыми, с умеренным количеством осадков

и в целом – благоприятными для вегетации растений озимой ржи (рисунки 2.1.6 и 2.1.7). Уборка и учет урожая зерна озимой ржи в текущем году проведен 20 августа. Гидротермический коэффициент (таблица 2.1) за период от возобновления вегетации до цветения – 0,5 (резкий недостаток влаги), а за период от цветения до уборки зерна – 1,0 (количество осадков соответствовало испаряемости).

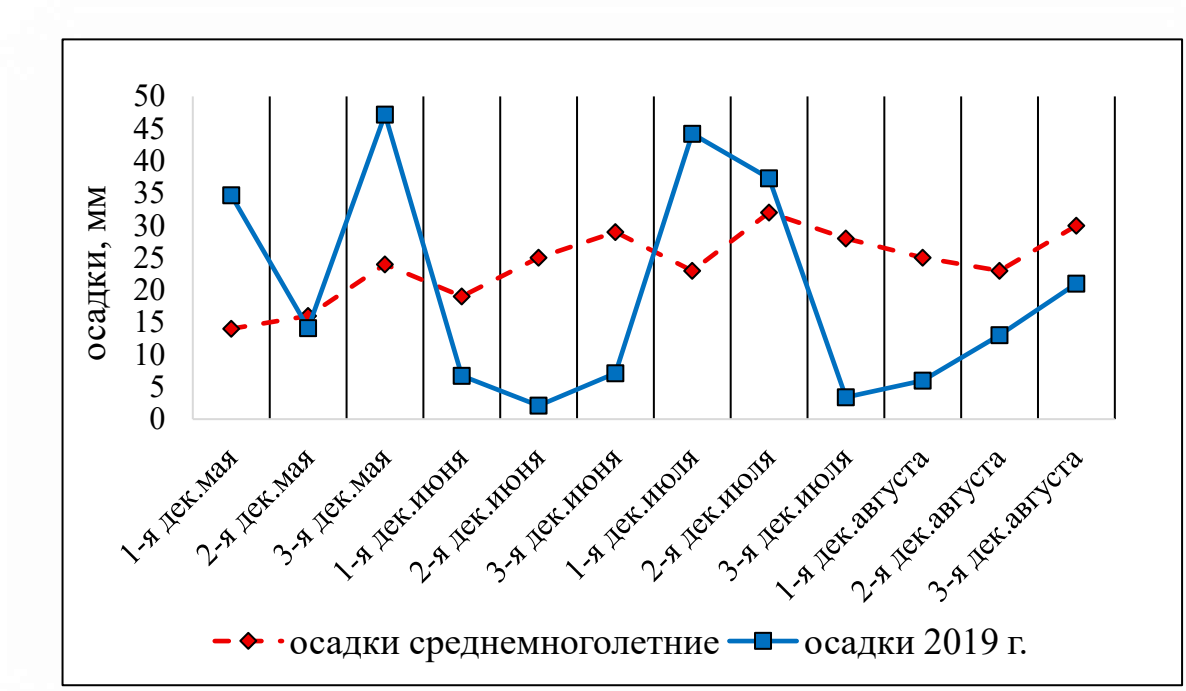


Рисунок 2.1.5. Осадки, 2019 год

Осенне-зимний период в третий год проведения исследований (2020–2021 гг.) характеризовался теплой затяжной осенью, ГТК в период «посев–окончание осенней вегетации» свидетельствовал о некотором недостатке влаги (ГТК = 0,9). Снежный покров установился в середине декабря. Условия зимовки растений при умеренном снежном покрове и умеренно-морозной погоде были удовлетворительными. Возобновление вегетации отмечено 16 апреля. Теплая и влажная весна способствовала быстрому развитию растений. Уборку и учет урожая зеленой массы проводили 24 мая. Цветение растений озимой ржи наступило 4 июня, то есть в сроки, близкие к среднемноголетним. Летний период характеризовался необычно жаркой и сухой погодой вплоть до начала августа (рисунки 2.1.8 и 2.1.9), количество осадков за июнь и июль составило лишь 25 %

от нормы. Это привело к ухудшению условий для налива зерна и его чрезмерно раннему созреванию, в результате чего был сформирован более низкий уровень урожайности. Уборка и учет урожая зерна озимой ржи проведен 29 июля. Гидротермический коэффициент за период от возобновления весенней вегетации до цветения составил 2,5 (таблица 2.1), а период от цветения до уборки урожая зерна характеризовался практически полным отсутствием осадков (ГТК = 0,3).

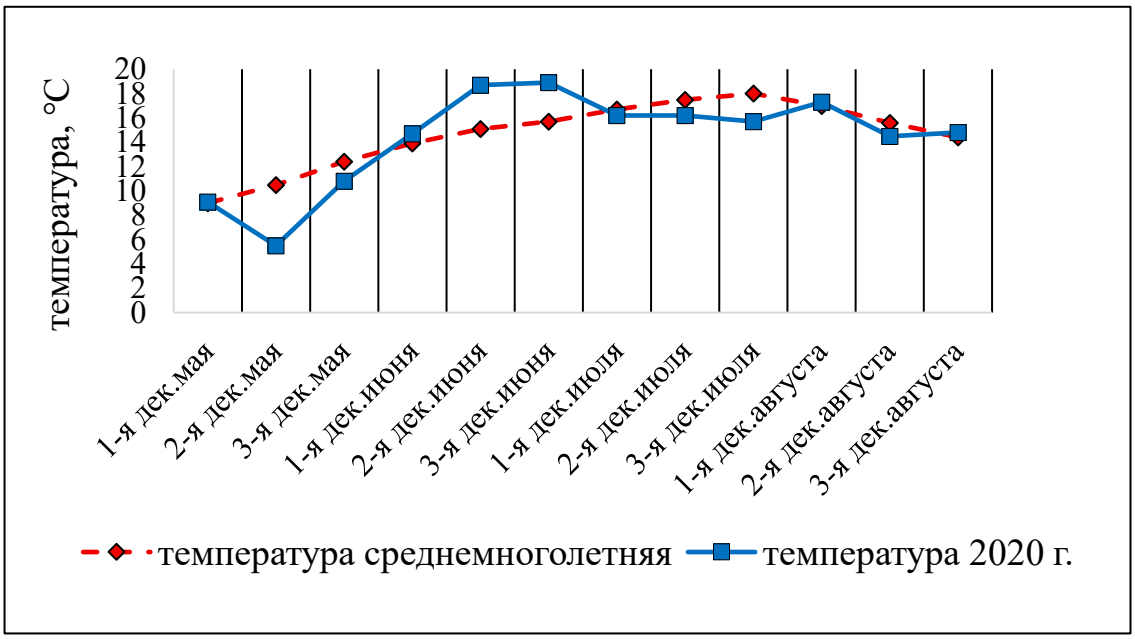


Рисунок 2.1.6. Температура воздуха, 2020 год

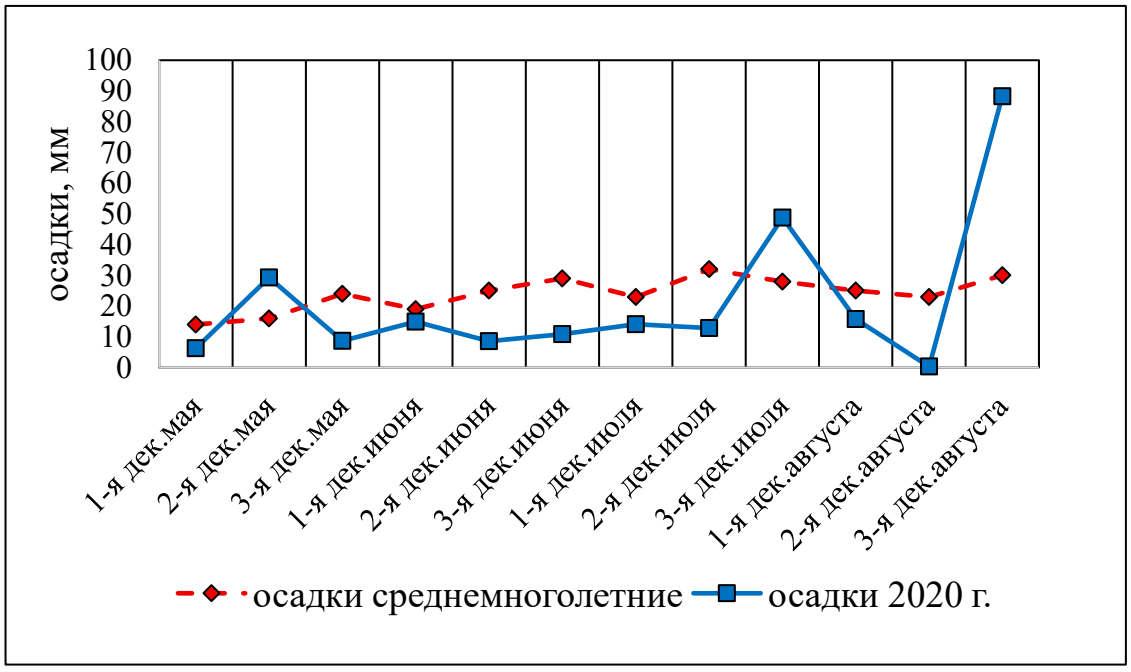


Рисунок 2.1.7. Осадки, 2020 год

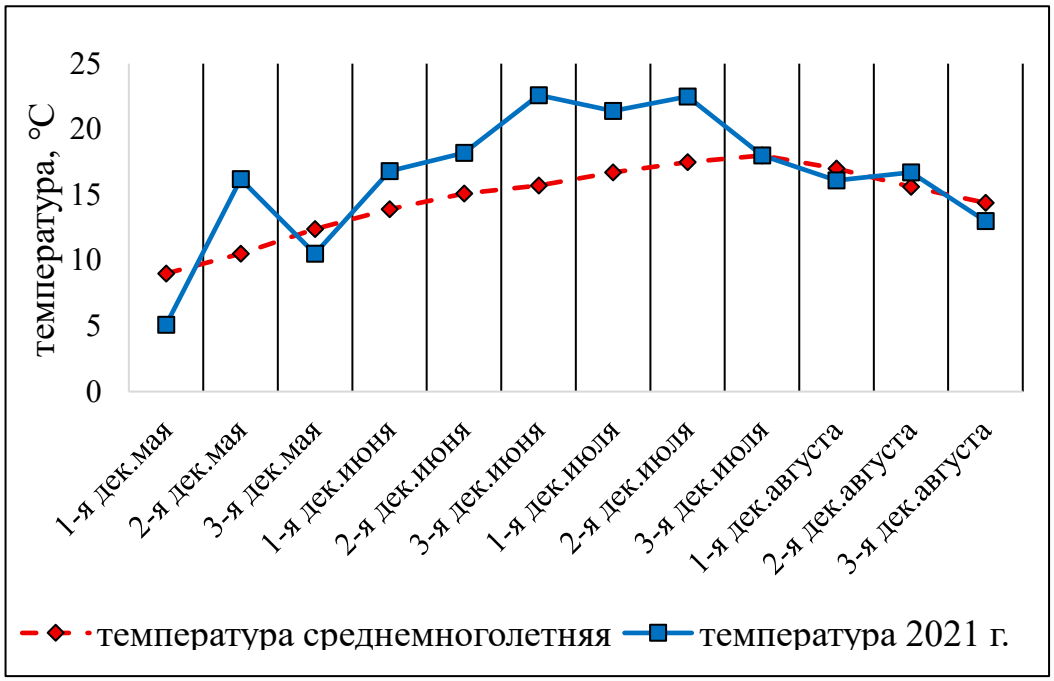


Рисунок 2.1.8. Температура воздуха, 2021 год

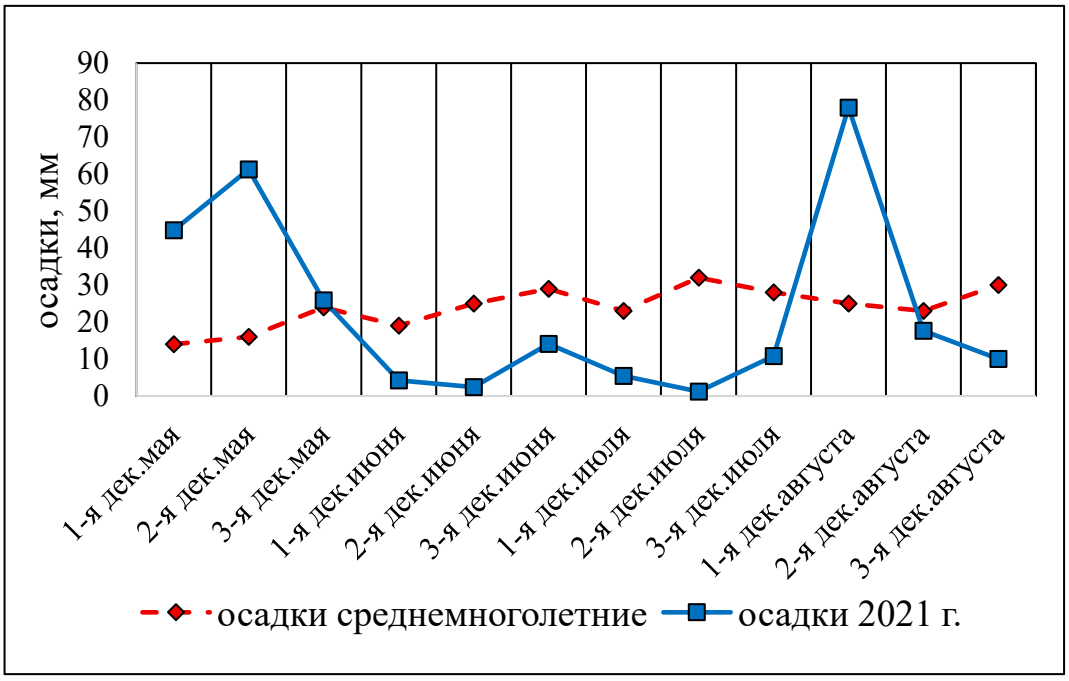


Рисунок 2.1.9. Осадки 2021 год

В заключение следует отметить, что сложившиеся гидротермические условия в период проведения полевых опытов не во все годы способствовали формированию высокого уровня урожайности зеленой массы и зерна озимой ржи.

2.2 Условия и объекты исследований

По характеру рельефа опытное поле Ленинградского НИИСХ является равниной. Гидрографическая сеть представлена рекой Оредеж и её притоками, которые имеют обрывистые берега, что обеспечивает хороший дренаж прилегающим полям, на которых в 2019–2021 гг. проводились полевые опыты. Непосредственно на территории опытного поля рек нет, также нет осушительных и оросительных систем. Почва под опытом дерново-подзолистая, легкосуглинистая, среднеокультуренная с глубиной пахотного слоя 20–25 см (Небольсин и Небольсина, 2010). Почва опытных участков характеризуется слабокислой реакцией, низким содержанием гумуса, высоким содержанием подвижного фосфора и средним содержанием обменного калия (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Агрохимическая характеристика почвы опытного участка (Ленинградская область, 2019–2021 гг.)

Показатель	
Тип почвы	дерново-подзолистая, легкосуглинистая
pH солевой вытяжки	5,2–5,5
Содержание гумуса, % (по Тюрину)	2,0–2,3
Подвижный фосфор (P_2O_5), мг/кг (по Кирсанову)	184–212
Обменный калий (K_2O), мг/кг (по Кирсанову)	83–98

Объекты исследования – 2 сорта озимой ржи селекции Ленинградского НИИСХ «Белогорка»: сорт Волхова, принятый как стандарт для Северо-Западного региона, и новый сорт ржи Эврика, включенный в Госреестр селекционных достижений и допущенный к использованию в сельском хозяйстве по Северо-Западному региону в 2021 году (рисунок 2.2).

Сорт Волхова – среднепозднего срока созревания и универсального назначения. Растения полукороткостебельные, высотой 125–135 см. Колос слабо поникающий, средней длины, средней плотности. Масса 1000 зерен – 28–32 г. Зимостойкость высокая, устойчивость к полеганию – средняя. Хлебопекарные качества удовлетворительные.

Сорт озимой ржи Эврика – среднепозднего срока созревания, универсального

назначения. Растения полукороткостебельные, высотой несколько меньше стандарта Волхова (115–125 см). Колос горизонтальный или полупоникший, средней длины, средней плотности и плотный. Масса 1000 зёрен – 32–39 г. Зимостойкость высокая, на уровне или несколько выше стандарта Волхова. Сорт устойчив к полеганию, в годы проявления этого признака превышает стандарт Волхова на 1,2–1,5 балла. Хлебопекарные качества удовлетворительные.



Рисунок 2.2. Сорта озимой ржи Эврика (слева) и Волхова (справа)

2.3 Схема опыта и методика проведения исследований

При проведении полевого опыта в качестве источников азота и калия применяли только аммиачную и калийную селитру, чтобы избежать значимого поступления с минеральными удобрениями иных элементов минерального питания (в частности, серы, магния или хлора), кроме азота и калия. Эффективность калийной селитры изучали в дозах: $К_{40}$, $К_{80}$ и $К_{120}$ при различных сроках ее применения (осенью или ранней весной) на трех уровнях азотного питания – N_{30}, N_{60} и N_{90}. Уровень азотного питания – суммарная доза азота, вносимая с аммиачной и калийной селитрой за период вегетации. При проведении опыта не применяли

иных биологических и химических средств, кроме изучаемых видов минеральных удобрений. В вариантах с осенним внесением калийной селитры осенняя доза азота, вносимая с калийной селитрой, составляла 1/3 от суммарной дозы азота за период вегетации, при этом 2/3 от суммарной дозы азота в этих вариантах вносили весной в виде аммиачной селитры (дробное внесение удобрений). В вариантах с весенним внесением калийной селитры суммарная доза азота складывалась из азота калийной и аммиачной селитры, взятых в соотношении 1 : 2 (единовременное внесение удобрений). Во всех вариантах без калия вносили одну аммиачную селитру: при дробном внесении удобрений 1/3 от суммарной дозы азота вносили осенью и 2/3 от суммарной дозы азота вносили весной, при единовременном внесении удобрений всю суммарную дозу азота вносили весной.

Схема опыта:

I. Вариант 1: без удобрений (контроль).

II. Суммарная доза азота N_{30}.

Вариант 2: осенью $N_{10}K_0$ + весной $N_{20}K_0$ (дробное без калия)

Вариант 3: осенью $N_{10}K_{40}$ + весной $N_{20}K_0$ (дробное с калием)

Вариант 4: весной $N_{30}K_0$ (единовременное без калия)

Вариант 5: весной $N_{30}K_{40}$ (единовременное с калием)

III. Суммарная доза азота N_{60}.

Вариант 6: осенью $N_{20}K_0$ + весной $N_{40}K_0$ (дробное без калия)

Вариант 7: осенью $N_{20}K_{80}$ + весной $N_{40}K_0$ (дробное с калием)

Вариант 8: весной $N_{60}K_0$ (единовременное без калия)

Вариант 9: весной $N_{60}K_{80}$ (единовременное с калием)

IV. Суммарная доза азота N_{90}.

Вариант 10: осенью $N_{30}K_0$ + весной $N_{60}K_0$ (дробное без калия)

Вариант 11: осенью $N_{30}K_{120}$ + весной $N_{60}K_0$ (дробное с калием)

Вариант 12: весной $N_{90}K_0$ (единовременное без калия)

Вариант 13: весной $N_{90}K_{120}$ (единовременное с калием)

Посев озимой ржи ежегодно проводили в первой декаде сентября с нормой высева – 4,5 млн всхожих семян на 1 га. Предшественник во все годы проведения

опыта – ранний картофель. Опыт – мелкоделяночный, закладывался методом рандомизированных делянок (Б.А. Доспехов, 1985). Общая площадь делянки 5 м^2 (5×1 м). Размер учетной площадки – 4 м^2 (4×1 м). Повторность опыта – 3-х кратная. Посев проводили сеялкой ССФК-6, а внесение минеральных удобрений осенью и весной – в сухом виде вручную вразброс с последующей заделкой. Уборку зерна проводили селекционным комбайном «Hege», зелёной массы – вручную, в конце фазы трубкования, когда колос едва начинал показываться из влагалища флагового листа. Данный срок выбран как оптимальный. К этому времени растения озимой ржи развивают значительную надземную массу, в то же время, согласно имеющимся экспериментальным данным, при укосе в фазу трубкования риск накопления избыточного количества нитратов минимален даже при использовании высоких доз азотных удобрений (Волкова, 2022). Зимостойкость определяли путем подсчета количества растений в фазу окончания осенней вегетации и количества растений в фазу возобновления вегетации весной и выражали в процентах числа выживших растений от числа ушедших в зимовку.

Минеральные удобрения в осенний период вносили через неделю после появления всходов, весной – при возобновлении вегетации. Внесение минеральных удобрений осенью по всходам было выбрано, исходя из имеющихся экспериментальных данных о том, что озимая рожь среди остальных зерновых культур характеризуется слабой отзывчивостью на улучшение минерального питания путем внесения удобрений под основную обработку почвы и под предпосевную культивацию, гораздо лучше реагируя на внесение азотных и калийных удобрений в период вегетации (Завьялова и Шишков, 2020; Шпанев и др., 2021).

Ежегодно перед закладкой опыта отбирали почвенные образцы из пахотного слоя (0–22 см), в которых определяли:

– pH – потенциометрически (ГОСТ 26483-85);

– гумус – по Тюрину (ГОСТ 26213-91);

– содержание подвижных форм фосфора и калия – по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 54650-2001).

В растительных образцах определяли:

– массу 1000 зерен (ГОСТ 12042-80);

– натуру зерна (ГОСТ 10840-2017);

– структуру урожая согласно «Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур», 1975, 1985;

– «число падения» (ГОСТ 27676-88);

– содержание сырого белка, жира и крахмала в зерне – экспресс-методом инфракрасной спектроскопии;

– содержание фосфора – колориметрически (ГОСТ 26657-97);

– содержание калия – на пламенном фотометре (ГОСТ 30504-97).

Полученные экспериментальные данные обработаны методами парного корреляционного и множественного регрессионного анализа с использованием пакета статистических программ Statgraphics Plus for Windows, версия 5.0. С целью более точного и корректного сравнения вариантов внутри каждой суммарной дозы азота был проведен дисперсионный анализ по Б.А. Доспехову (1985) с использованием компьютерной программы Microsoft Offfice Excel 2010.

ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ АММИАЧНОЙ И КАЛИЙНОЙ СЕЛИТРЫ НА ЗИМОСТОЙКОСТЬ, УСТОЙЧИВОСТЬ К ПОЛЕГАНИЮ И УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕЛЕНОЙ МАССЫ И ЗЕРНА ОЗИМОЙ РЖИ

3.1 Влияние осеннего внесения минеральных удобрений на зимостойкость растений

Наблюдения за зимостойкостью двух сортов озимой ржи в сложившихся гидротермических условиях в период проведения исследований показали, что зимостойкость растений существенно не изменялась при осеннем внесении минеральных удобрений (таблицы 3.1.1 и 3.1.2), оставаясь на уровне контроля (приложение А, рисунки П.1 и П.2).

Таблица 3.1.1 – Зимостойкость ржи озимой сорта Волхова при осеннем внесении разных доз аммиачной и калийной селитры, 2019–2021 гг.

Вид удобрения	Доза азота, кг/га д.в.			
	N_0	N_{10}	N_{20}	N_{30}
	Зимостойкость, %			
	2019 г.			
NH_4NO_3	-	65,8	64,6	63,4
KNO_3	-	63,3	64,1	62,6
Контроль	63,1	-	-	-
$НСР_{0,05}$	11,7			
	2020 г.			
NH_4NO_3	-	76,9	79,4	83,1
KNO_3	-	78,1	70,5	73,9
Контроль	75,8	-	-	-
$НСР_{0,05}$	12,4			
	2021 г.			
NH_4NO_3	-	80,2	73,1	76,2
KNO_3	-	76,5	74,6	75,2
Контроль	78,4	-	-	-
$НСР_{0,05}$	12,7			
	Среднее за 2019–2021 гг.			
NH_4NO_3	-	74,3	69,7	74,2
KNO_3	-	72,6	72,4	70,6
Контроль	72,4	-	-	-
$НСР_{0,05}$	10,1			

Необходимо отметить, что зимостойкость обоих сортов озимой ржи в большей степени варьировала по годам, чем в зависимости от доз минеральных удобрений. Осеннее внесение калийной селитры не дало ожидаемого протекторного эффекта, что может быть связано с тем, что в современных условиях сохранность растений озимых культур в зимний период определяется в основном не морозостойкостью, а устойчивостью к вымоканию и выпреванию, калий же, как известно, способствует увеличению именно морозостойкости растений.

Таблица 3.1.2 – Зимостойкость ржи озимой сорта Эврика при осеннем внесении разных доз аммиачной и калийной селитры, 2019–2021 гг.

Вид удобрения	Доза азота, кг/га д.в.			
	N_0	N_{10}	N_{20}	N_{30}
	Зимостойкость, %			
	2019 г.			
NH_4NO_3	-	77,2	74,0	75,0
KNO_3	-	74,0	75,0	78,8
Контроль	74,9	-	-	-
$НСР_{0,05}$	10,9			
	2020 г.			
NH_4NO_3	-	82,4	84,2	85,3
KNO_3	-	76,8	75,7	79,4
Контроль	77,9	-	-	-
$НСР_{0,05}$	10,7			
	2021 г.			
NH_4NO_3	-	86,3	80,9	76,8
KNO_3	-	83,4	78,0	83,6
Контроль	84,1	-	-	-
$НСР_{0,05}$	11,7			
	Среднее за 2019–2021 гг.			
NH_4NO_3	-	82,0	79,7	79,0
KNO_3	-	78,1	76,2	80,6
Контроль	79,0	-	-	-
$НСР_{0,05}$	9,1			

3.2 Влияние аммиачной и калийной селитры на полегание растений

Проведение учетов полегания растений озимой ржи показало, что во все годы в контроле растения обоих сортов практически не полегали (таблицы 3.2.1 и 3.2.2).

В 2019 г. у сорта Волхова как при единовременном, так и при дробном применении удобрений в суммарной дозе N_{30} и N_{60} во всех вариантах с калием и без его внесения полегание было незначительным. При единовременном весеннем внесении удобрений в суммарной дозе N_{90} наблюдалось существенное полегание, при этом полегание в варианте с совместным внесением аммиачной и калийной селитры было выше, чем в варианте с внесением одной аммиачной селитры. У сорта Эврика полегания растений во всех вариантах опыта практически не отмечено.

Таблица 3.2.1 – Степень полегания растений озимой ржи сорта Волхова при разных вариантах применения удобрений, 2019–2021 гг.

Вариант	Степень полегания, %			
	2019	2020	2021	среднее за три года
Контроль (без удобрений)	2,5	5,0	0,0	2,5
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	5,0	11,7	36,7	17,8
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	5,0	10,0	16,7	10,6
$N_{30}K_0$(в)	5,0	6,7	25,0	12,2
$N_{30}K_{40}$(в)	10,0	26,7	10,0	15,6
Среднее	6,25	13,8	22,1	14,1
$НСР_{0,05}$	11,3	20,5	21,2	14,5
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	10,0	31,7	31,7	24,5
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	7,5	16,7	13,3	12,5
$N_{60}K_0$(в)	25,0	40,0	56,7	40,6
$N_{60}K_{80}$(в)	20,0	50,0	40,0	33,3
Среднее	15,6	34,6	35,4	27,7
$НСР_{0,05}$	11,7	15,5	21,5	13,3
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	15,0	50,0	10,0	25,0
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	10,0	51,7	26,7	29,5
$N_{90}K_0$(в)	31,7	53,3	35,0	40,0
$N_{90}K_{120}$(в)	50,0	83,3	80,0	71,1
Среднее	26,7	59,6	37,9	41,4
$НСР_{0,05}$	15,8	21,8	21,9	19,8
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

В 2020 году сложившиеся условия весенне-летнего периода благоприятствовали активным процессам роста и развития растений, что

способствовало сильному полеганию сорта Волхова (свыше 40 %) при суммарной дозе N_{60} в вариантах с единовременным весенним внесением удобрений вне зависимости от применения калийной селитры, а при суммарной дозе N_{90} – во всех вариантах опыта. У сорта Эврика полегание растений во всех вариантах опыта было незначительным.

Таблица 3.2.2 – Степень полегания растений озимой ржи сорта Эврика при разных вариантах применения удобрений, 2019–2021 гг.

Вариант	Степень полегания, %			
	2019	2020	2021	среднее за три года
Контроль (без удобрений)	0,0	0,0	0,0	0,0
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	0,0	1,7	0,0	0,6
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	0,0	1,7	0,0	0,6
$N_{30}K_0$(в)	0,0	0,0	0,0	0,0
$N_{30}K_{40}$(в)	0,0	3,3	0,0	1,1
Среднее	0,0	1,7	0,0	0,6
$НСР_{0,05}$	-	2,3	-	1,0
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	0,0	1,7	1,7	1,1
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	0,0	3,3	1,7	1,7
$N_{60}K_0$(в)	0,0	1,7	10,0	3,9
$N_{60}K_{80}$(в)	0,0	15,0	5,0	6,7
Среднее	0,0	7,2	4,6	3,4
$НСР_{0,05}$	-	14,5	9,3	4,9
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	0,0	15,0	11,7	5,6
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	2,5	5,0	21,7	9,7
$N_{90}K_0$(в)	5,0	18,3	10,0	11,1
$N_{90}K_{120}$(в)	5,0	18,3	15,0	12,8
Среднее	3,1	14,2	14,6	9,8
$НСР_{0,05}$	2,5	15,5	14,0	5,4
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

В условиях летней засухи в третий год опыта (2021 г.) при низкой и средней суммарной дозе азота (N_{30} и N_{60}) отмечена тенденция к более сильному полеганию растений сорта Волхова в вариантах с единовременным весенним внесением одной аммиачной селитры, чем в вариантах с совместным весенним внесением аммиачной и калийной селитр. При высокой суммарной дозе азота N_{90} в вариантах

с калием растения сформировали б**о**льший урожай, чем в вариантах без его внесения, в результате чего при недостаточном тургоре тканей растений полегание было выражено сильнее, особенно при весеннем единовременном внесении минеральных удобрений. Растения сорта Эврика практически не полегали при низкой и средней дозах азота, а при внесении N_{90} незначительное полегание имело место, но разница по вариантам оказалась не существенной.

Проведение статистической обработки методом множественного регрессионного анализа в среднем за годы проведения исследований позволило получить уравнения (1, 2), отражающие полегание растений изучемых сортов озимой ржи (Y, %) от доз и сроков применения азотных и калийных удобрений:

$$Y\ (\text{Волхова}) = 2{,}109 + 13{,}417N_2 + 2{,}818K_2^2;\ R^2 = 0{,}889^* \quad (1)$$

$$Y\ (\text{Эврика}) = -\ 0{,}387 + 1{,}380N_2^2 + 0{,}409K_2^2;\ R^2 = 0{,}918^* \quad (2)$$

(* - здесь и далее статистически значимо на уровне 0,05)

Во всех уравнениях множественной регрессии здесь и далее введено кодирование вариантов. N_1 – осеннее внесение азота в виде аммиачной или калийной селитры: 0 – без азота, 0,33 – N_{10}, 0,67 – N_{20} и 1 – N_{30}. N_2 – весенняя подкормка азотом в виде аммиачной или калийной селитры: 0 – без азота, 1 – N_{30}, 2 – N_{60} и 3 – N_{90}; K_1 – осеннее внесение калия в виде калийной селитры: 0 – без калия, 1 – K_{40}, 2 – K_{80} и 3 – K_{120}; K_2 – весеннее внесение калийной селитры: 0 – без калия, 1 – K_{40}, 2 – K_{80} и 3 – K_{120}.

Уравнения, отражающие зависимость полегания растений обоих сортов озимой ржи от доз и сроков внесения удобрений, показали, что в среднем за годы исследований осеннее внесение как азота, так и калия в изучаемых дозах не оказывало существенного влияния на полегаемость. Однако весеннее внесение азота и калия приводило к достоверному усилению полегания, особенно у сорта Волхова. При этом каждая последующая доза удобрений приводила к большему полеганию по сравнению с предыдущей.

Таким образом, степень полегания растений озимой ржи в основном определялась сортовыми особенностями, а также дозами и сроками внесения аммиачной и калийной селитры (рисунок 3.2). Полегание устойчивого по этому

признаку сорта Эврика было незначительным во всех вариантах и во все годы опыта. Сорт Волхова склонен к полеганию при единовременном весеннем внесении средних и высоких доз азота (N_{60} и N_{90}) и калия ($К_{80}$ и $К_{120}$). Для снижения степени полегания сорта Волхова при применении высоких доз удобрений возможно или дробное внесение удобрений, или использование ретардантов, особенно в годы с избыточным увлажнением.

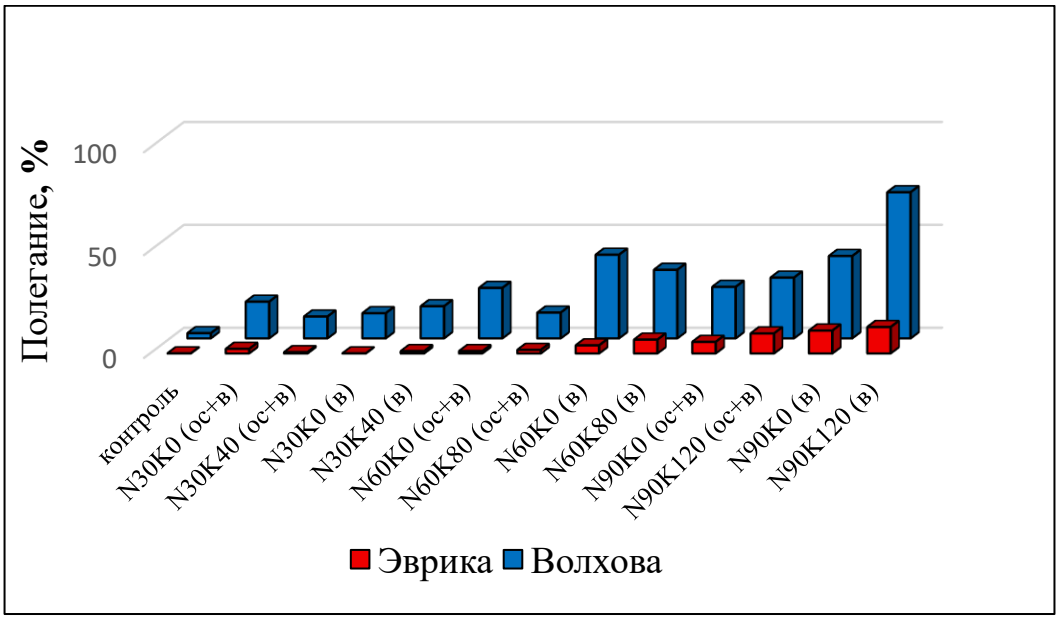


Рисунок 3.2. Степень полегания сортов озимой ржи Волхова и Эврика при разных вариантах применения удобрений, среднее за 2019–2021 гг.

3.3 Влияние аммиачной и калийной селитры на урожайность зеленой биомассы

В 2019 году при внесении N_{30} и N_{60} урожайность зеленой биомассы у обоих сортов была практически одинаковой (приложение Б, таблица П.1), причем достоверной разницы между вариантами опыта не отмечено, за исключением варианта с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры при суммарной дозе N_{30}, где урожайность была достоверно выше. Таким образом, при недостаточной обеспеченности азотным питанием растений озимой ржи при суммарной дозе N_{30} весеннее внесение калия оказывало положительный эффект. Вероятно, это связано с тем, что калий, как известно, может способствовать увеличению коэффициента использования растениями азота удобрений (Турусов и

др., 2020). При более высокой обеспеченности азотом (N_{60} и N_{90}) различия между всеми вариантами опыта нивелировалось.

В 2020 году у обоих сортов озимой ржи при всех суммарных дозах азота урожайность зеленой биомассы была достоверно выше при единовременном весеннем, чем при дробном осенне-весеннем внесении минеральных удобрений (приложение Б, таблица П.2). Вероятно, эффективность осеннего внесения аммиачной и калийной селитры была сильно снижена условиями теплой безморозной зимы со значительным количеством осадков в виде дождей. При этом вид удобрений при единовременном весеннем внесении не имел существенного значения при суммарных дозах N_{30} и N_{60}.

При суммарной дозе N_{90} в 2020 году в вариантах без внесения калийной селитры прибавка урожая зеленой массы по сравнению с контролем была практически такой же, как при N_{60}, а в вариантах с калийной селитрой урожайность зеленой массы была максимальной. Возможно, в условиях недостаточного увлажнения и высоких температур (ГТК за период от возобновления вегетации до начала цветения составил лишь 0,5) негативное влияние на рост и развитие растений озимой ржи оказало значительное количество ионов аммония, внесенных с аммиачной селитрой, тогда как внесенный в составе калийной селитры калий, как известно, в высоких концентрациях способен нивелировать негативное влияние ионов аммония (Битюцкий, 1999; Якименко, 2010).

В 2021 году в условиях теплого и влажного мая (ГТК за период от возобновления вегетации до начала цветения составил 2,5) формирование зелёной биомассы определялось в основном достаточным поступлением азота. При этом сроки и вид удобрений не оказывали существенного влияния на урожайность зелёной массы в пределах каждой суммарной дозы азота (приложение Б, таблица П.3). Следует отметить, что максимум урожайности зелёной массы у обоих сортов достигался при N_{90}.

В среднем за три года максимальная урожайность зеленой биомассы у обоих сортов озимой ржи отмечена в варианте $N_{90}K_{120}$ с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры (таблица 3.3).

Проведение множественного регрессионного анализа показало, что урожайность зелёной массы обоих сортов озимой ржи (Y, т/га) в зависимости от доз и сроков применения удобрений в среднем за годы исследований отражают следующие уравнения регрессии (3, 4):

$Y\ (Волхова) = 3{,}181 + 0{,}746N_1^2 + 2{,}392N_2 - 0{,}254N_2^2 + 0{,}070N_2 \times K_2;\ R^2 = 0{,}956^*$ (3)

$Y\ (Эврика) = 2{,}928 + 0{,}554N_1 + 2{,}686N_2 - 0{,}270N_2^2 + 0{,}062N_2 \times K_2;\ R^2 = 0{,}993^*$ (4)

Таблица 3.3 – Урожайность зелёной биомассы озимой ржи в пересчёте на воздушно-сухое вещество, среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Волхова		Эврика	
	урожайность зеленой биомассы, т/га	прибавка к контролю, т/га	урожайность зеленой биомассы, т/га	прибавка к контролю, т/га
Контроль (без удобрений)	2,88	-	2,91	-
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	4,91	+2,03	4,92	+2,01
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	4,94	+2,06	4,74	+1,83
$N_{30}K_0$(в)	5,72	+2,84	5,55	+2,64
$N_{30}K_{40}$(в)	5,67	+2,79	5,54	+2,63
Среднее	5,31	+2,43	5,19	+2,28
$НСР_{0,05}$	0,34	-	0,44	-
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	5,96	+3,08	6,55	+3,64
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	5,96	+3,08	6,76	+3,85
$N_{60}K_0$(в)	6,71	+3,83	7,06	+4,15
$N_{60}K_{80}$(в)	6,93	+4,05	7,37	+4,46
Среднее	6,39	+3,51	6,94	+4,03
$НСР_{0,05}$	0,40	-	0,58	-
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	7,50	+4,62	8,11	+5,20
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	8,11	+5,23	8,30	+5,39
$N_{90}K_0$(в)	8,13	+5,25	8,58	+5,67
$N_{90}K_{120}$(в)	8,80	+5,92	9,14	+6,23
Среднее	8,14	+5,26	8,53	+5,62
$НСР_{0,05}$	0,59	-	0,55	-
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

С возрастанием доз азота как при осеннем (+ N_1), так и весеннем (+ N_2) его внесении урожайность зелёной массы увеличивалась у обоих сортов озимой ржи.

При этом при весеннем применении каждая последующая доза азота приводила к меньшей прибавке урожая зелёной массы по сравнению с предыдущей (+ N_2 – N_2^2). Необходимо отметить меньшее, чем от внесения азота, но существенное увеличение урожайности зелёной массы у обоих сортов озимой ржи при весеннем применении калийной селитры (+ $N_2 \times K_2$).

3.4 Влияние аммиачной и калийной селитры на урожайность зерна

В 2019 году при суммарной дозе азота N_{30} достоверных различий по величине урожайности зерна между всеми вариантами у обоих сортов озимой ржи не наблюдалось. Прибавка урожая к контролю была практически одинакова и составила в среднем + 0,39 т/га у сорта Волхова и + 0,17 т/га – у сорта Эврика (таблица 3.4.1). При суммарной дозе N_{60} минимальная прибавка урожая к контролю (+ 0,71 т/га) у сорта Волхова отмечена при единовременном весеннем внесении аммиачной селитры, максимальная (+ 1,43 т/га) – в варианте с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры, что свидетельствует о положительном влиянии весеннего внесения калия совместно с азотом на развитие растений сорта Волхова. У сорта Эврика при суммарной дозе N_{60} существенных различий между вариантами не обнаружено, а средняя по вариантам прибавка урожая к контролю была меньше, чем у сорта Волхова, и составила + 0,48 т/га. При суммарной дозе N_{90} у сорта Волхова наблюдалось усиленное отрастание подгона, который в условиях недостатка тепла не успел дать полноценного зерна, и урожайность данного сорта снизилась до уровня контроля.

У сорта Эврика при суммарной дозе азота N_{90} в 2019 году в вариантах без калия вне зависимости от сроков внесения удобрений прибавка к контролю оставалась на уровне N_{60} и в среднем составила + 0,44 т/га. В вариантах же с калием урожайность достоверно увеличилась и прибавка к контролю составила от +0,98 до +1,19 т/га. Возможно, высокие концентрации калия в почвенном растворе, которые имеют свойство усиливать потребление растениями ионов аммония и нитрата (Якименко и Малюга, 2014), могли способствовать увеличению урожайности в

неблагоприятных условиях, сложившихся в 2019 г. Однако стоит отметить, что в условиях холодного дождливого июля текущего года урожайность зерна более низкорослого сорта Эврика была ниже, чем сорта Волхова. Это, вероятно, объясняется менее развитой корневой системой сорта Эврика, что считается одним из известных недостатков современных короткостебельных сортов (Гончаренко, 2010).

Таблица 3.4.1 – Урожайность зерна озимой ржи при разных вариантах применения удобрений, 2019 г.

Вариант	Волхова		Эврика	
	урожайность зерна, т/га	прибавка к контролю, т/га	урожайность зерна, т/га	прибавка к контролю, т/га
Контроль (без удобрений)	2,05	-	2,21	-
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	2,57	+0,52	2,43	+0,22
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	2,46	+0,41	2,38	+0,17
$N_{30}K_0$(в)	2,23	+0,18	2,27	+0,06
$N_{30}K_{40}$(в)	2,51	+0,46	2,45	+0,24
Среднее	2,44	+0,39	2,38	+0,17
$НСР_{0,05}$	0,37	-	0,35	-
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	3,11	+1,06	2,70	+0,49
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	2,99	+0,94	2,55	+0,34
$N_{60}K_0$(в)	2,76	+0,71	2,63	+0,42
$N_{60}K_{80}$(в)	3,48	+1,43	2,86	+0,65
Среднее	3,09	+1,04	2,69	+0,48
$НСР_{0,05}$	0,36	-	0,33	-
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	1,98	-0,07	2,69	+0,48
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	1,95	-0,10	3,40	+1,19
$N_{90}K_0$(в)	1,98	-0,07	2,60	+0,39
$N_{90}K_{120}$(в)	2,06	+0,01	3,19	+0,98
Среднее	1,99	-	2,97	+0,76
$НСР_{0,05}$	0,23	-	0,34	-
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

В 2020 году после длительных оттепелей и обильных зимних осадков в виде дождя при низкой суммарной дозе азота (N_{30}) урожайность зерна сорта Волхова

при дробном применении удобрений оставалась практически на уровне контроля вне зависимости от вида удобрений (таблица 3.4.2). При единовременном весеннем внесении удобрений урожайность зерна этого сорта оказалась достоверно выше в варианте с калием, прибавка к контролю при этом составила +1,64 т/га против +0,77 т/га в варианте без внесения калия. Сорт Эврика, вероятно, как более толерантный к недостатку азотного питания в благоприятных погодных условиях (урожайность его в контроле была существенно выше стандарта Волхова) при N_{30} показал прибавку урожая во всех вариантах, кроме варианта с осенним внесением калийной селитры (таблица 3.4.2). Возможно, по причине того, что нитрат-ион, как известно, особенно подвержен осенне-зимнему вымыванию (Петров, 2020; Башкин, 2022).

При суммарной дозе N_{60} в 2020 году максимальная урожайность у сорта Волхова получена в варианте с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры (+ 1,99 т/га к контролю) при средней урожайности по дозе N_{60} 3,48 т/га. Урожайность же зерна у сорта Эврика при N_{60} практически не различалась по вариантам и в среднем по этой суммарной дозе азота составила 4,18 т/га. При N_{90} у сорта Волхова отмечено сильное развитие подгона в ущерб урожайности зерна, которая в среднем по дозе азота N_{90} составила 3,53 т/га и осталась практически на уровне N_{60} (3,48 т/га), при этом разница между вариантами не была статистически достоверна, за исключением варианта с осенним внесением калийной селитры, в котором урожай зерна был минимальным. Сорт Эврика менее склонен к образованию подгона при высоких дозах удобрений и максимальное увеличение урожайности отмечено при суммарной дозе азота N_{90}, в варианте с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры. При этом прибавка урожая зерна к контролю составила +2,42 т/га.

В 2021 году при суммарной дозе азота N_{30} у обоих сортов озимой ржи минимальная урожайность зерна получена в варианте с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры (таблица 3.4.3). Вероятно, активно раскустившиеся после весеннего внесения удобрений с калием растения озимой ржи затем испытывали недостаток азота при низкой его дозе (N_{30}) в условиях резкого недостатка влаги в репродуктивный период, когда потребление растениями

практически всех элементов минерального питания, как известно, сильно затруднено. Максимальная урожайность при N_{30} отмечена у обоих сортов в вариантах с дробным внесением удобрений – для сорта Волхова в варианте с осенним внесением аммиачной селитры, для сорта Эврика в варианте с осенним внесением калийной селитры.

Таблица 3.4.2 – Урожайность зерна озимой ржи при разных вариантах применения удобрений, 2020 г.

Вариант	Волхова		Эврика	
	урожайность зерна, т/га	прибавка к контролю, т/га	урожайность зерна, т/га	прибавка к контролю, т/га
Контроль (без удобрений)	2,16	-	2,75	-
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	2,41	+0,25	3,51	+0,76
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	2,11	-0,05	3,03	+0,28
$N_{30}K_0$(в)	2,93	+0,77	3,52	+0,77
$N_{30}K_{40}$(в)	3,80	+1,64	3,35	+0,60
Среднее	2,81	-	3,35	+0,60
$НСР_{0,05}$	0,38	-	0,34	-
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	3,29	+1,13	4,17	+1,42
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	3,18	+1,02	4,08	+1,33
$N_{60}K_0$(в)	3,29	+1,13	4,37	+1,62
$N_{60}K_{80}$(в)	4,15	+1,99	4,11	+1,36
Среднее	3,48	+1,32	4,18	+1,43
$НСР_{0,05}$	0,40	-	0,42	-
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	3,49	+1,33	4,78	+2,03
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	3,05	+0,89	3,92	+1,17
$N_{90}K_0$(в)	3,97	+1,81	4,40	+1,65
$N_{90}K_{120}$(в)	3,60	+1,44	5,17	+2,42
Среднее	3,53	+1,37	4,57	+1,82
$НСР_{0,05}$	0,46	-	0,50	-
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

При суммарной дозе N_{60} в 2021 г. у сорта Волхова разница между вариантами по срокам внесения удобрений нивелируется, за исключением варианта с единовременным весенним внесением одной аммиачной селитры, где урожайность

была достоверно ниже, чем в остальных вариантах. У сорта Эврика необходимо отметить существенную разницу между дробным и единовременным внесением минеральных удобрений в пользу дробного.

При суммарной дозе N_{90} в 2021 г. урожайность сорта Волхова снизилась до уровня, сформированного при самой низкой дозе азота. При этом не проявляется влияние сроков внесения удобрений и более существенным становится положительное действие высоких доз калия (K_{120}) при совместном внесении с азотом – прибавка урожайности зерна в два раза выше в вариантах с калийной селитрой, чем в вариантах без неё как при осенне-весеннем, так и при весеннем внесении удобрений.

Таблица 3.4.3 – Урожайность зерна озимой ржи при разных вариантах применения удобрений, 2021 г.

Вариант	Волхова		Эврика	
	урожайность зерна, т/га	прибавка к контролю, т/га	урожайность зерна, т/га	прибавка к контролю, т/га
Контроль	1,39	-	1,28	-
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	2,88	+1,49	1,69	+0,41
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	2,38	+0,99	2,06	+0,78
$N_{30}K_0$(в)	1,75	+0,36	1,70	+0,42
$N_{30}K_{40}$(в)	1,32	-0,07	1,44	+0,16
Среднее	2,08	-	1,72	+0,44
$НСР_{0,05}$	0,30	-	0,33	-
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	2,81	+1,42	2,13	+0,85
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	2,63	+1,24	2,38	+1,10
$N_{60}K_0$(в)	2,25	+0,86	1,73	+0,45
$N_{60}K_{80}$(в)	2,69	+1,30	1,63	+0,35
Среднее	2,60	+1,21	1,97	+0,69
$НСР_{0,05}$	0,30	-	0,35	-
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	1,72	+0,33	1,90	+0,62
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	2,17	+0,78	2,13	+0,85
$N_{90}K_0$(в)	1,62	+0,23	1,76	+0,48
$N_{90}K_{120}$(в)	2,19	+0,80	1,75	+0,47
Среднее	1,93	+0,54	1,89	+0,61
$НСР_{0,05}$	0,30	-	0,39	-
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

Возможно, повышенные дозы калия при N_{90} способствовали повышению засухоустойчивости и, как следствие, повышению урожайности растений, что было отмечено и другими исследователями (Абашев и Светлакова, 2015). Урожайность сорта Эврика при суммарной дозе N_{90} остается практически равной с N_{60}, при этом достоверной разницы между вариантами по срокам применения и виду удобрений не наблюдается. В целом, сорт Эврика по сравнению с сортом Волхова, в более сильной степени реагировал на недостаток влаги в период вегетации и формировал урожай зерна ниже сорта Волхова.

В среднем за годы опыта максимальная урожайность зерна у обоих сортов озимой ржи отмечена в варианте с единовременным весенним внесением калийной и аммиачной селитры – у сорта Волхова при суммарной дозе N_{60}, а у сорта Эврика – при суммарной дозе N_{90}, что, вероятно, обусловлено различной отзывчивостью этих сортов на уровень минерального питания. При этом прибавка урожая зерна по сравнению с контролем у первого сорта составила +1,57 т/га, второго +1,29 т/га (таблица 3.4.4).

Таким образом, весеннее внесение удобрений оказалось более эффективным по сравнению с осенним внесением удобрений, что согласуется с последними данными и других исследователей (Пасынкова и др., 2025), и при возделывании озимой ржи на дерново-подзолистых почвах Ленинградской области максимальный урожай зерна формировался при совместном весеннем внесении аммиачной и калийной селитры.

Уравнения множественной регрессии имеют важное практическое значение, так как их использование позволяет применить интерполяцию. Это дает возможность получить сведения о величине зависимой переменной (Y) для неосуществленных в опыте промежуточных вариантов, что значительно углубляет традиционный анализ опытных и аналитических данных (Иванова, 1989).

Проведение статистической обработки данных методом множественного регрессионного анализа показало, что осеннее внесение калия в виде калийной селитры у обоих сортов озимой ржи существенного влияния на урожайность зерна не оказало, так как на уровне $p < 0,05$ данный фактор отсутствует в уравнениях

регрессии (рисунки 3.4.1–3.4.6). У сорта Волхова проявилось достоверное положительное влияние весеннего внесения калийной селитры на урожайность зерна (+K_2), то есть с возрастанием доз калия урожайность зерна линейно возрастала и достигала максимальной величины при дозе K_{120}. При этом для получения максимального урожая зерна озимой ржи сорта Волхова оптимальной дозой азота при осеннем внесении является доза 15 кг/га д.в. (точка экстремума – 0,41 код. ед. или 12,3 кг/га д.в.) и при весеннем – 60 кг/га д.в. (точка экстремума – 1,92 код. ед. или 57,6 кг/га д.в.).

Таблица 3.4.4 – Урожайность зерна озимой ржи при разных вариантах применения удобрений, среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Волхова		Эврика	
	урожайность зерна, т/га	прибавка к контролю, т/га	урожайность зерна, т/га	прибавка к контролю, т/га
Контроль	1,87	-	2,08	-
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	2,62	+0,75	2,54	+0,46
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	2,32	+0,45	2,49	+0,41
$N_{30}K_0$(в)	2,30	+0,43	2,50	+0,42
$N_{30}K_{40}$(в)	2,54	+0,67	2,41	+0,33
Среднее	2,45	+0,58	2,49	+0,41
$НСР_{0,05}$	0,29	-	0,28	-
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	3,07	+1,20	3,00	+0,92
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	2,93	+1,06	3,00	+0,92
$N_{60}K_0$(в)	2,77	+0,90	2,91	+0,83
$N_{60}K_{80}$(в)	3,44	+1,57	2,86	+0,78
Среднее	3,05	+1,18	2,94	+0,86
$НСР_{0,05}$	0,29	-	0,30	-
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	2,40	+0,53	3,12	+1,04
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	2,39	+0,52	3,15	+1,07
$N_{90}K_0$(в)	2,52	+0,65	2,92	+0,84
$N_{90}K_{120}$(в)	2,64	+0,77	3,37	+1,29
Среднее	2,49	+0,62	3,14	+1,06
$НСР_{0,05}$	0,25	-	0,21	-
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

Разработанные уравнения множественной регрессии, отражающие

зависимость урожайности зерна изучаемых сортов озимой ржи от доз и сроков применения азотных и калийных удобрений, показывают, что на ее величину оказывали существенное влияние: осеннее (N_1) и весеннее (N_2) внесение аммиачной и весеннее внесение калийной селитры (K_2). Очевидно, что графическое изображение уравнений от трех независимых переменных в трехмерном пространстве невозможно. Поэтому для построения графических изображений величина одной из независимых переменных (в данном случае – K_2) фиксируется на одном уровне (K_2 = 1, 2 и 3 код. ед., что составляет 40, 80 и 120 кг/га д.в. соответственно), а затем воспроизводится графическое изображение уже от двух независимых переменных (N_1 и N_2), как это представлено на рисунках 3.4.1 – 3.4.6.

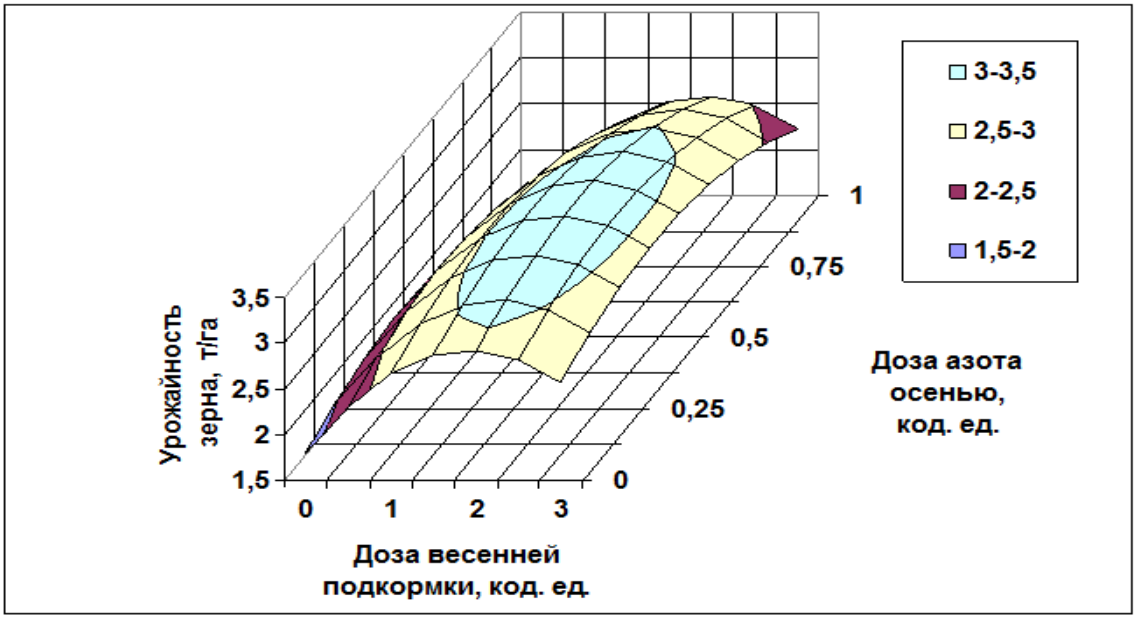


Рисунок 3.4.1. Зависимость урожайности зерна озимой ржи сорта Волхова (Y, т/га) от доз и сроков применения азотных удобрений (среднее за 2019–2021 гг.)
$Y = 1{,}660 + 1{,}516N_1 + 1{,}175N_2 + 0{,}139K_2 - 1{,}861N_1^2 - 0{,}306N_2^2$; $R^2 = 0{,}794$*
При K_2 = 1 (40 кг/га д.в.)

Проведение статистической обработки данных у сорта Эврика показало линейную зависимость урожайности зерна от уровня осеннего применения аммиачной селитры. При весеннем ее применении урожайность зерна возрастала, однако каждая последующая доза приводила к меньшей прибавке урожая по сравнению с предыдущей ($+N_2$-N_2^2). Следует отметить существенное положительное влияние на урожайность зерна совместного весеннего применения азота и калия ($+N_2 \times K_2$), однако с увеличением доз калийной селитры весной

урожайность зерна снижалась (-K_2). Как видим, в отличие от сорта Волхова, у сорта Эврика отсутствуют точки экстремума по величине доз аммиачной селитры как при осеннем, так и весеннем ее применении. То есть дозы азотных удобрений у данного сорта озимой ржи для получения максимального урожая находятся за пределами изученных в полевом опыте.

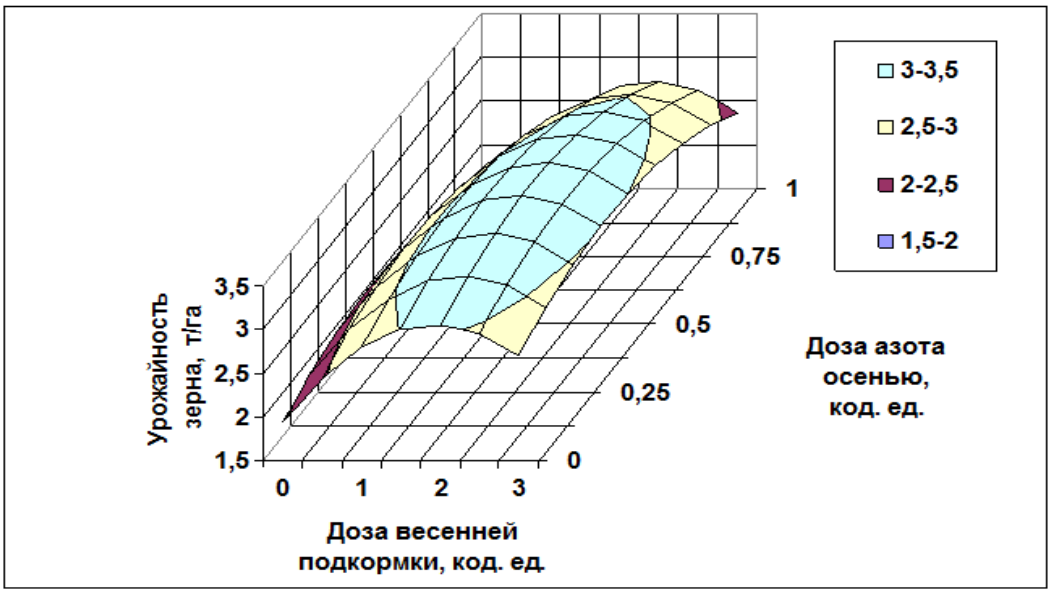


Рисунок 3.4.2. Зависимость урожайности зерна озимой ржи сорта Волхова (Y, т/га) от доз и сроков применения азотных удобрений (среднее за 2019–2021 гг.)
$Y = 1,660 + 1,516N_1 + 1,175N_2 + 0,139K_2 - 1,861N_1^2 - 0,306N_2^2$; $R^2 = 0,794$*
При $K_2 = 2$ (80 кг/га д.в.)

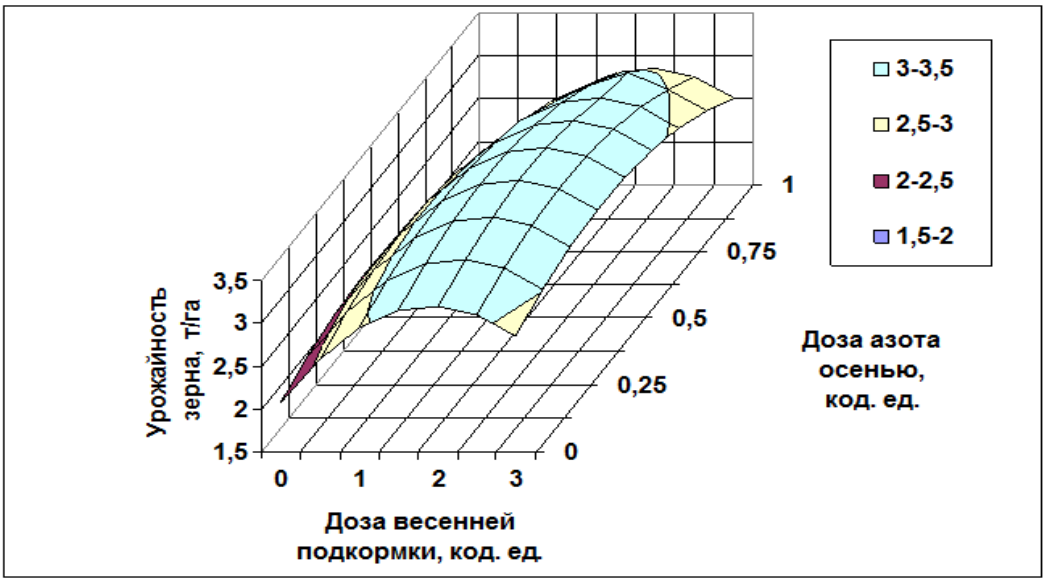


Рисунок 3.4.3. Зависимость урожайности зерна озимой ржи сорта Волхова (Y, т/га) от доз и сроков применения азотных удобрений (среднее за 2019–2021 гг.)
$Y = 1,660 + 1,516N_1 + 1,175N_2 + 0,139K_2 - 1,861N_1^2 - 0,306N_2^2$; $R^2 = 0,794$*
При $K_2 = 3$ (120 кг/га д.в.)

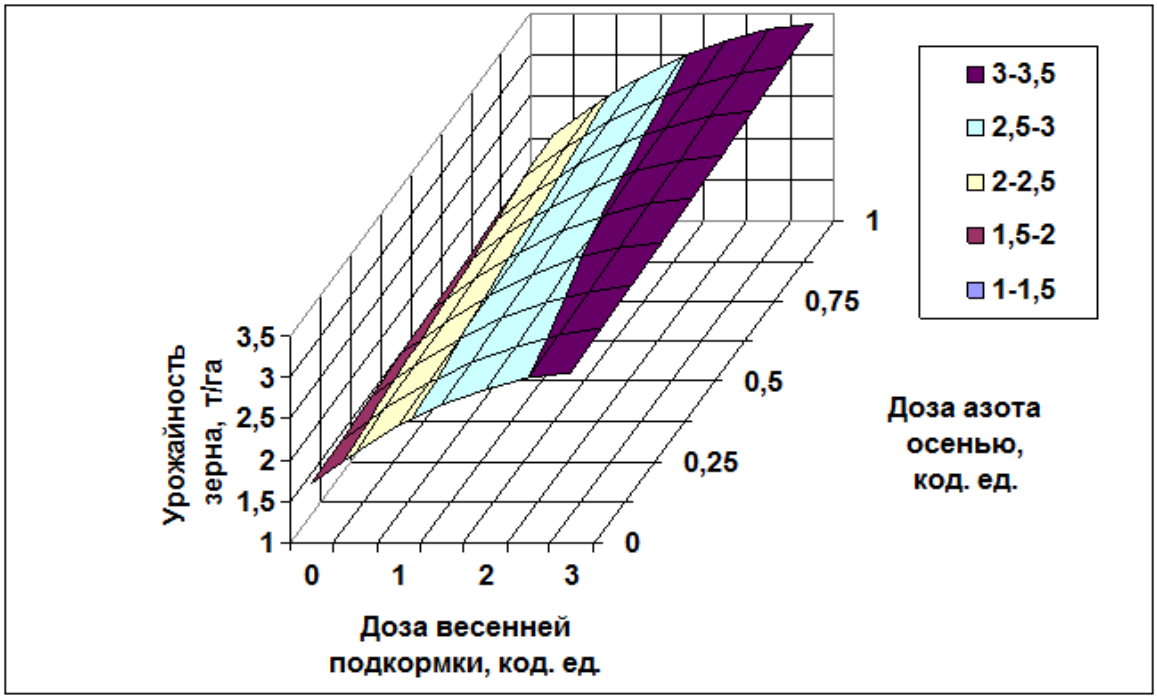


Рисунок 3.4.4. Зависимость урожайности зерна озимой ржи сорта Эврика (Y, т/га) от доз и сроков применения азотных удобрений (среднее за 2019–2021 гг.)
$Y = 2{,}054 + 0{,}309N_1 + 0{,}656N_2 + 0{,}162N_2 \times K_2 - 0{,}334K_2 - 0{,}123N_2^2$; $R^2 = 0{,}966$*
При $K_2 = 1$ (40 кг/га д.в.)

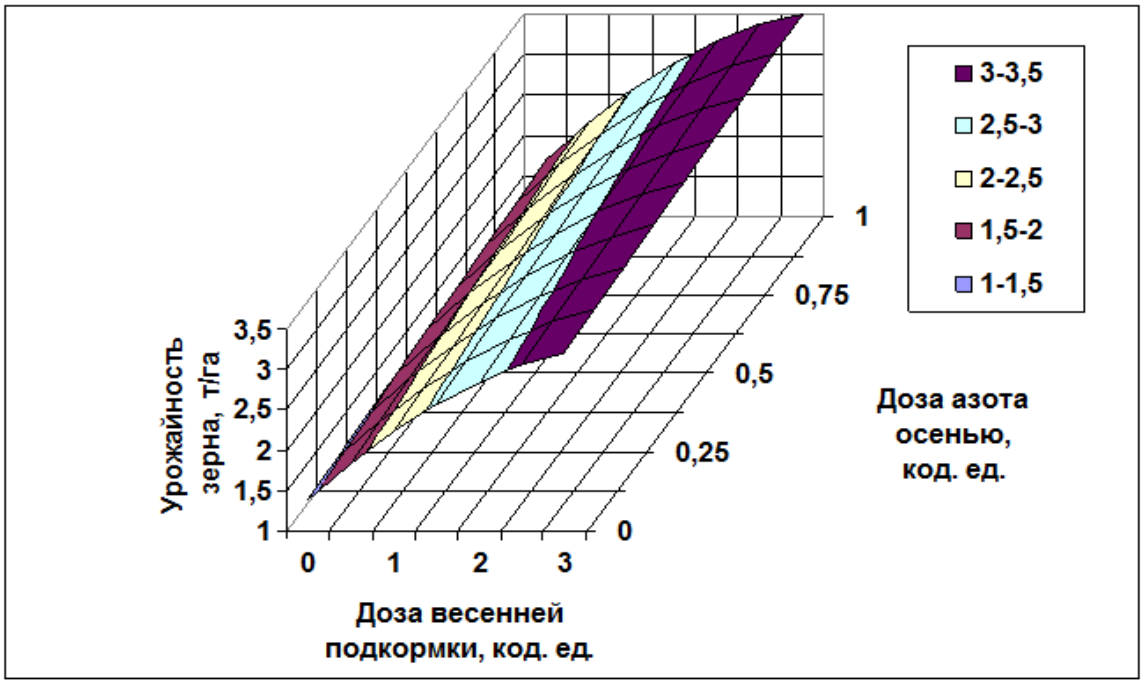


Рисунок 3.4.5. Зависимость урожайности зерна озимой ржи сорта Эврика (Y, т/га) от доз и сроков применения азотных удобрений (среднее за 2019–2021 гг.)
$Y = 2{,}054 + 0{,}309N_1 + 0{,}656N_2 + 0{,}162N_2 \times K_2 - 0{,}334K_2 - 0{,}123N_2^2$; $R^2 = 0{,}966$*
При $K_2 = 2$ (80 кг/га д.в.)

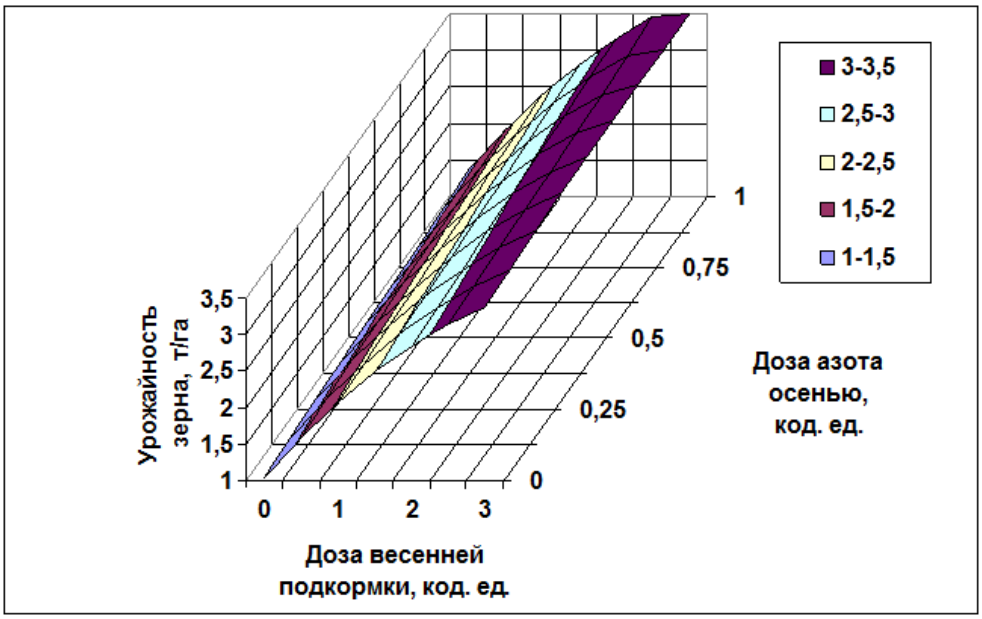


Рисунок 3.4.6. Зависимость урожайности зерна сорта Эврика (Y, т/га) от доз и сроков применения азотных удобрений (среднее за 2019–2021 гг.). При $К_2$ = 3 (120 кг/га д.в.)

Выводы по главе

Зимостойкость растений обоих сортов озимой ржи в большей степени варьировала по годам, чем в зависимости от доз и вида минеральных удобрений, вносимых осенью. Степень полегания растений озимой ржи определялась сортовыми особенностями, а также дозами и сроками внесения удобрений. Полегание устойчивого по этому признаку сорта Эврика было незначительным во всех вариантах и во все годы опыта. Сорт Волхова склонен к полеганию при единовременном весеннем внесении средних и высоких доз азота (N_{60} и N_{90}) и калия ($К_{80}$ и $К_{120}$). Максимальная урожайность зеленой массы у обоих сортов озимой ржи отмечена при суммарной дозе азота N_{90} в вариантах с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры. Для получения максимального урожая зерна озимой ржи сорта Волхова оптимальным является внесение осенью аммиачной селитры в дозе N_{15} и весеннее внесение $N_{60}К_{120}$ в виде аммиачной и калийной селитры. Максимальная урожайность зерна в опыте у сорта Эврика получена в варианте с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры в дозе $N_{90}К_{120}$. Дозы азота и калия, соответствующие точке экстремума, находятся за пределами изученных в полевом опыте.

ГЛАВА 4. ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ СТРУКТУРЫ УРОЖАЯ, ПОЛЕГАНИЕМ И УРОЖАЙНОСТЬЮ ЗЕРНА ОЗИМОЙ РЖИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ ПРИМЕНЕНИЯ АММИАЧНОЙ И КАЛИЙНОЙ СЕЛИТРЫ

4.1 Зависимости между высотой растений, полеганием и урожайностью зерна

Независимо от года опыта в пределах одной суммарной дозы азота не отмечено достоверной разницы по высоте растений между вариантами у обоих сортов озимой ржи. При этом отмечена тенденция к увеличению высоты растений обоих сортов с увеличением доз вносимых удобрений (таблицы 4.1.1 и 4.1.2).

Таблица 4.1.1 – Высота растений сорта Волхова при разных вариантах применения удобрений, 2019–2021 гг.

Вариант	Высота растений, см			
	2019	2020	2021	Среднее за 3 года
Контроль (без удобрений)	124,0	126,3	132,3	127,5
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	126,2	127,3	134,4	129,3
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	125,0	132,9	135,1	131,0
$N_{30}K_0$(в)	124,5	131,7	133,5	129,9
$N_{30}K_{40}$(в)	125,7	131,2	134,5	130,5
Среднее	125,4	130,8	134,4	130,2
$НСР_{0,05}$	6,7	7,7	9,6	6,6
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	126,1	133,9	136,8	132,3
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	127,5	138,3	137,4	134,4
$N_{60}K_0$(в)	126,3	133,2	138,2	132,6
$N_{60}K_{80}$(в)	125,0	137,9	137,8	133,6
Среднее	126,2	135,8	137,6	133,2
$НСР_{0,05}$	10,1	9,2	7,2	7,2
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	127,8	131,5	143,7	134,3
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	128,8	131,3	142,0	134,0
$N_{90}K_0$(в)	132,5	129,3	140,8	134,2
$N_{90}K_{120}$(в)	128,6	131,5	143,6	134,6
Среднее	129,4	130,9	142,5	134,3
$НСР_{0,05}$	9,3	4,9	8,5	6,2

Таблица 4.1.2 – Высота растений сорта Эврика при разных вариантах применения удобрений, 2019–2021 гг.

Вариант	Высота растений, см			
	2019	2020	2021	Среднее за три года
Контроль (без удобрений)	116,3	111,2	110,7	112,7
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	120,2	123,7	117,9	120,6
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	123,8	117,8	119,6	119,6
$N_{30}K_0$(в)	120,4	124,2	116,6	120,4
$N_{30}K_{40}$(в)	125,5	125,0	116,9	122,4
Среднее	122,5	122,7	117,8	120,8
$НСР_{0,05}$	8,9	7,9	6,6	6,4
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	125,1	127,2	125,9	126,1
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	121,0	125,3	124,9	123,7
$N_{60}K_0$(в)	124,3	121,4	125,8	123,8
$N_{60}K_{80}$(в)	122,0	121,3	123,6	122,4
Среднее	123,1	123,8	125,1	124,0
$НСР_{0,05}$	6,8	9,7	8,3	6,8
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	122,9	126,2	132,3	127,1
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	125,1	122,9	131,2	126,4
$N_{90}K_0$(в)	122,5	123,1	133,9	126,5
$N_{90}K_{120}$(в)	125,2	129,1	133,4	129,2
Среднее	123,9	125,3	132,7	127,3
$НСР_{0,05}$	7,7	7,5	8,2	6,4
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

Проведение статистической обработки результатов трехлетних исследований позволило получить уравнения (5, 6), отражающие зависимость высоты растений (Y, см) изучемых сортов озимой ржи от доз как азотных, так и калийных удобрений:

$Y\ (Волхова) = 127{,}090 + 1{,}523N_1^2 + 3{,}763N_2 - 0{,}434N_2^2 + 2{,}951K_1 - 1{,}009K_1^2;\ R^2 = 0{,}889^*$ (5)

$Y\ (Эврика) = 115{,}710 + 3{,}852N_1 + 4{,}063N_2;\ R^2 = 0{,}883^*$ (6)

Как видим, с повышением доз азота как при осеннем, так и весеннем внесении, высота растений сорта Волхова увеличивалась. При этом при осеннем внесении азота каждая последующая его доза приводила к большему увеличению высоты растений по сравнению с предыдущей (+ N_1^2). Однако при весеннем

внесении каждая последующая доза азота приводила к меньшему увеличению высоты растений по сравнению с предыдущей (+ N_2 - N_2^2). Весеннее внесение калия не оказывало существенного влияния на высоту растений у сорта Волхова, а при осеннем внесении калия высота растений повышалась, при этом каждая последующая доза калия приводила к меньшему увеличению высоты растений по сравнению с предыдущей. У более низкорослого сорта Эврика высота растений линейно зависела только от осеннего и весеннего внесения азота.

Таким образом, статистическая обработка экспериментальных даннных по высоте растений изучаемых сортов озимой ржи показала различия по их реакции на внесение азотных и калийных удобрений. При этом следует отметить, что сорт Волхова более склонен к увеличению высоты растений с повышением температуры воздуха в период вегетации (при сумме активных температур 757,8, 775,3 и 840,7°С в 2019, 2020 и 2021 г. соответственно), тогда как сорт Эврика характеризовался достаточно стабильной по годам высотой растений (рисунок 4.1.1).

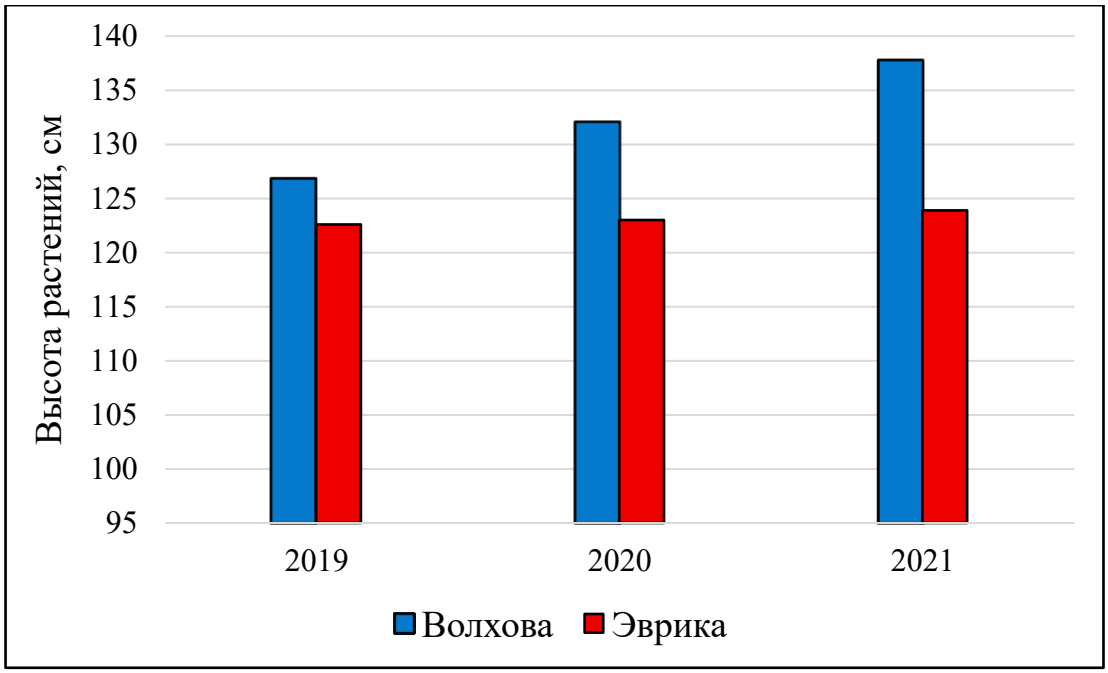


Рисунок 4.1.1. Высота растений изучаемых сортов озимой ржи

Как было показано в разделе 3.2, сорт Эврика отличался очень слабой полегаемостью, при этом некоторое увеличение высоты растений с возрастанием дозы удобрений не приводило к существенному усилению полегания. Полегаемость растений сорта Волхова достоверно различалась по вариантам в

пределах каждой дозы азота при отсутствии существенных различий по высоте растений. Таким образом, при проведении исследований у обоих сортов озимой ржи не обнаружено прямой зависимости между высотой растений и степенью их полегания.

Что касается зависимости между степенью полегания растений озимой ржи и их урожайностью, то ожидаемого снижения сбора зерна при усилении полегания не наблюдалось даже у сорта Волхова, склонного к полеганию при высоких дозах азотного удобрения (рисунок 4.1.2). У сорта Волхова во все годы опытов наблюдалась положительная зависимость между урожайностью и степенью полегания растений, от слабой тенденции при суммарной дозе азота N_{30} и N_{60} (r = 0,27 и r = 0,32 соответственно) до достоверной при N_{90} (r = 0,63). То есть, увеличение урожайности зерна за счет применения минеральных удобрений усиливало склонность растений сорта Волхова к полеганию, что, однако, не приводило к существенным потерям зерна при механизированной уборке урожая.

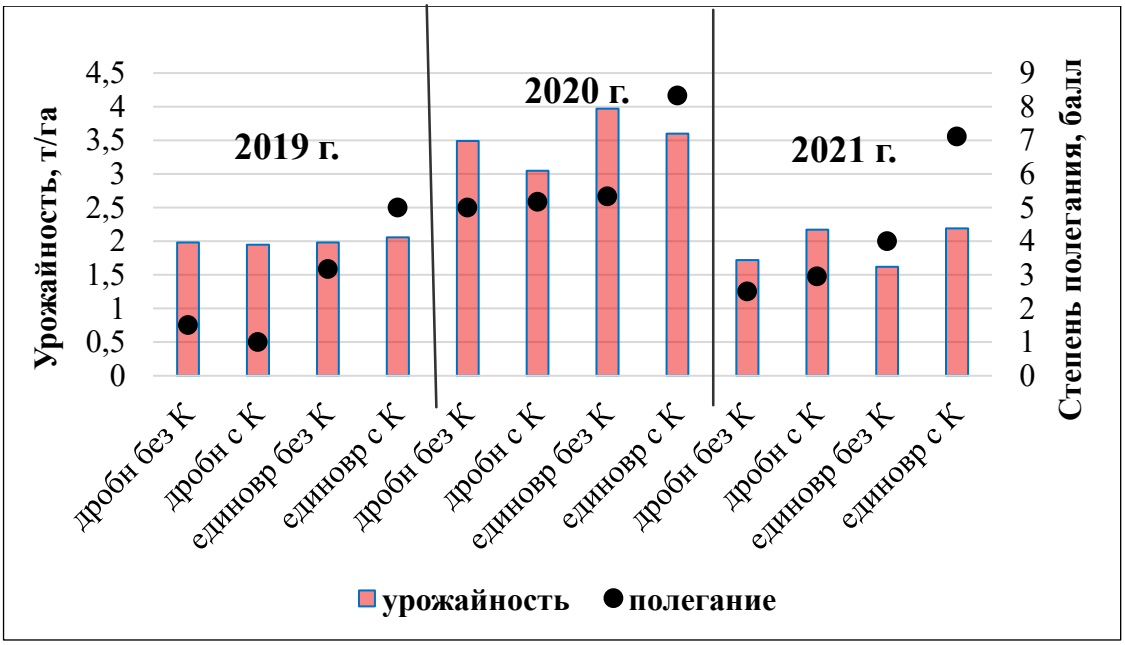


Рисунок 4.1.2. Урожайность и степень полегания озимой ржи сорта Волхова при суммарной дозе азота N_{90}

Сорт Эврика показал бо**л**ьшую устойчивость к полеганию во все годы исследований при всех суммарных дозах азота, независимо от срока внесения и вида минеральных удобрений. При этом не было выявлено зависимости между степенью полегания растений и урожайностью у сорта Эврика.

4.2 Зависимость урожайности зерна от основных элементов структуры урожая

Известно, что основными элементами структуры урожая, определяющими величину зерновой продуктивности растений озимой ржи в зависимости от уровня минерального питания и сортовых особенностей являются количество растений на единице площади, густота продуктивного стеблестоя и коэффициент продуктивной кустистости, масса зерновки (масса 1000 зерен), число зёрен в колосе и масса зерна с колоса (Пугач и др., 2000; Исмагилов, 2001; Аюпов, 2005; Мурыгин и др., 2016; Золотарева, 2020; Шпанев и др., 2021). Не претендуя на полноту сведений, имеющихся в научной литературе, влияние калийной селитры на структуру урожая озимой ржи практически не освещено, поэтому одной из задач представленной работы являлось выявление связей между элементами структуры урожая и урожайностью под действием калийного удобрения, в частности, осеннем и весеннем внесении калийной селитры при применении аммиачной селитры.

В процессе проведения исследований установлено, что у обоих сортов озимой ржи масса 1000 зёрен существенно не изменялась в зависимости от доз и сроков внесения минеральных удобрений. При этом также не было отмечено достоверных отличий по этому признаку между вариантами с внесением калийной селитры при разных суммарных дозах азота и без её внесения. Масса 1000 зерен в основном определялась сортовыми особенностями и гидротермическими условиями, складывающимися в период вегетации (рисунок 4.2). Следует отметить, что сорт Эврика сформировал самое крупное зерно в условиях повышенной влагообеспеченности в период налива зерна в 2019 году и самое мелкое – при недостаточной влагообеспеченности в этот же период в 2021 году, чего не наблюдается у сорта Волхова, подтверждая более высокую зависимость сорта Эврика к уровню увлажнения, что, вероятно, связано с менее развитой корневой системой, свойственной более короткостебельным сортам, что отмечают и другие авторы (Акимова, 2007; Everett, 2019). У сорта Волхова минимальная масса 1000 зёрен была сформирована при благоприятных гидротермических

условиях репродуктивного периода 2020 года. При этом урожай зерна у обоих сортов в 2020 году был максимальным за все три года опыта.

Более существенные изменения при различных вариантах применения минеральных удобрений наблюдались у таких показателей структуры урожая, как густота продуктивного стеблестоя и масса зерна с одного колоса, причем последний признак при неизменной массе 1000 зёрен, в конечном итоге, определялся числом зерен в колосе (таблицы 4.2.1–4.2.8).

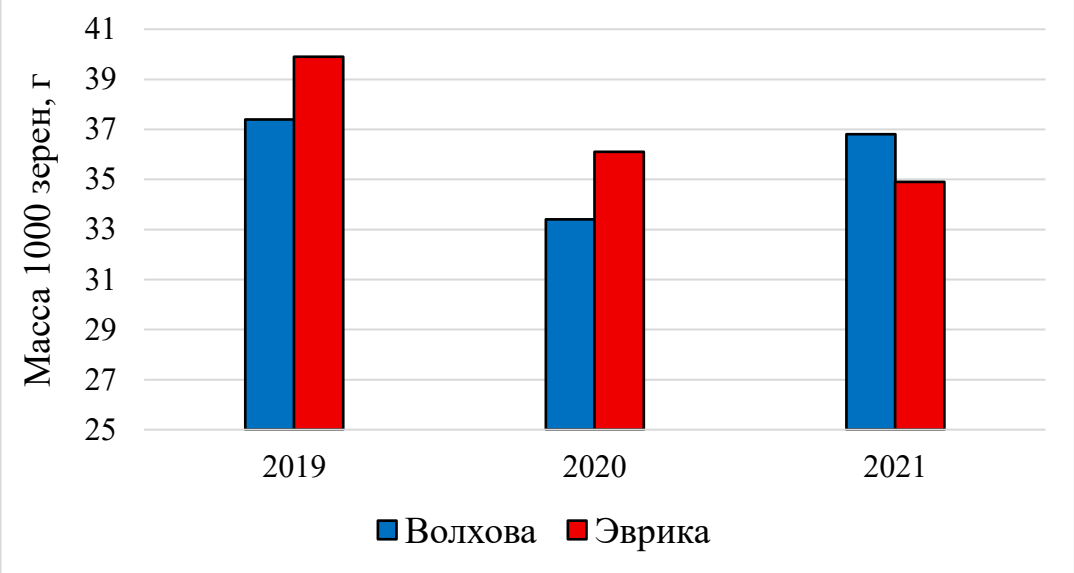


Рисунок 4.2. Динамика массы 1000 зёрен сортов озимой ржи, 2019–2021 гг.

В 2019 году в результате значительного выпадения растений в период перезимовки у обоих сортов озимой ржи густота стеблестоя восстанавливалась за счет усиления весеннего кущения, поэтому наблюдается существенное различие по величине продуктивного стеблестоя между вариантами с дробным осенне-весенним и единовременным весенним внесением удобрений в пользу последнего при всех суммарных дозах азота (таблицы 4.2.1 и 4.2.2). При N_{30} у сорта Волхова разница между вариантами с калием и без калия как при осеннем, так и весеннем применении, по густоте продуктивного стеблестоя статистически недостоверна, также, как и по массе зерна с колоса. При N_{60} отмечено увеличение густоты продуктивного стеблестоя при единовременном весеннем применении удобрений по сравнению с дробным как в варианте с калийной селитрой, так и в варианте без её внесения. При этом в варианте с единовременным весенним внесением одной

аммиачной селитры отмечено снижение массы зерна с колоса. При N_{90} у сорта Волхова наблюдалось сильное развитие подгона, колосья которого не успели сформировать полноценное зерно в условиях недостатка тепла в июле текущего года, в результате чего масса зерна с колоса в среднем при данной суммарной дозе азота оказалась минимальной при максимальной густоте продуктивного стеблестоя.

Таблица 4.2.1 – Элементы структуры урожая озимой ржи при разных вариантах применения удобрений, сорт Волхова, 2019 г.

Вариант	Густота продуктивного стеблестоя, шт./м^2	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зёрен, г	Число зёрен в колосе, шт.
Контроль (без удобрений)	140	1,46	37,5	40
	суммарная доза N_{30}			
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	157	1,64	38,0	43
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	153	1,61	37,5	43
$N_{30}K_0$(в)	180	1,24	37,8	33
$N_{30}K_{40}$(в)	200	1,26	37,6	34
Среднее	173	1,44	37,7	38
$НСР_{0,05}$	23	0,20	1,3	5
	суммарная доза N_{60}			
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	172	1,81	37,5	48
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	170	1,76	37,0	47
$N_{60}K_0$(в)	211	1,31	37,6	35
$N_{60}K_{80}$(в)	214	1,67	37,7	44
Среднее	192	1,64	37,5	43
$НСР_{0,05}$	31	0,19	1,7	4
	суммарная доза N_{90}			
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	190	1,06	37,8	28
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	175	1,11	37,2	30
$N_{90}K_0$(в)	230	0,88	37,1	24
$N_{90}K_{120}$(в)	210	0,98	37,3	26
Среднее	201	1,00	37,4	27
$НСР_{0,05}$	27	0,24	1,4	4
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

У сорта Эврика в 2019 г. при N_{30} густота продуктивного стеблестоя и масса зерна с одного колоса между вариантами с калием и без калия статистически недостоверна при всех сроках применения удобрений. При этом единовременное

весеннее внесение удобрений приводило к увеличению густоты продуктивного стеблестоя и уменьшению массы зерна с одного колоса по сравнению с дробным осенне-весенним применением удобрений. При N_{60} увеличение густоты продуктивного стеблестоя при единовременном весеннем внесении аммиачной селитры по сравнению с дробным ее применением привело к снижению массы зерна с одного колоса. А в варианте с весенним внесением калийной селитры при N_{60} снижения массы зерна с колоса не происходило. При N_{90} масса зерна с колоса была достоверно выше в вариантах с калием, чем в вариантах без калия при любом сроке внесения минеральных удобрений (таблица 4.2.2).

Таблица 4.2.2 – Элементы структуры урожая озимой ржи при разных вариантах применения удобрений, сорт Эврика, 2019 г.

Вариант	Густота продуктивного стеблестоя, шт./м^2	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зёрен, г	Число зёрен в колосе, шт.
контроль	165	1,34	40,3	33
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	170	1,43	39,7	36
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	168	1,42	40,4	35
$N_{30}K_0$(в)	199	1,14	39,9	29
$N_{30}K_{40}$(в)	207	1,18	39,8	30
Среднее	186	1,29	40,0	33
$НСР_{0,05}$	29	0,15	1,9	2
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	179	1,51	40,0	38
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	185	1,38	40,7	34
$N_{60}K_0$(в)	225	1,17	39,9	29
$N_{60}K_{80}$(в)	208	1,38	39,6	35
Среднее	199	1,36	40,1	34
$НСР_{0,05}$	27	0,16	3,1	4
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	190	1,42	39,2	36
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	189	1,80	39,3	46
$N_{90}K_0$(в)	210	1,24	40,3	31
$N_{90}K_{120}$(в)	215	1,48	40,1	37
Среднее	201	1,49	39,7	38
$НСР_{0,05}$	28	0,12	3,2	4
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

Рассмотрим зависимости урожайности зерна с густотой продуктивного стеблестоя и массой зерна с одного колоса. Необходимо отметить, что зависимость урожайности зерна от густоты продуктивного стеблестоя у сорта Волхова в сложившихся гидротермических условиях 2019 года при неблагоприятной перезимовке и холодном дождливом июле при низкой и средней суммарной дозе азотных удобрений оказалась незначимой при r = - 0,21 и r = 0,19 соответственно ($r_{кр.}$ = 0,576 при общем количестве наблюдений n = 12 на уровне 0,05). Однако между урожайностью и массой зерна с одного колоса в текущем году была обнаружена значимая средняя положительная зависимость (r = 0,61 и r = 0,58 соответственно). При суммарной дозе N_{90} в связи с сильным развитием подгона, который не успел развиться в продуктивные стебли в условиях холодного и дождливого июля, какой-либо значимой зависимости урожайности зерна как от густоты продуктивного стеблестоя, так и от массы зерна с одного колоса не установлено.

У сорта Эврика при всех суммарных дозах азота в 2019 г. не выявлено значимой зависимости урожайности зерна от густоты продуктивного стеблестоя, но обнаруживается средняя и сильная положительная зависимость урожайности от массы зерна с одного колоса (r = 0,62, r = 0,57 и r = 0,90 для суммарной дозы N_{30}, N_{60} и N_{90} соответственно).

Таким образом, в условиях избыточного увлажнения и невысоких летних температур в 2019 году увеличение урожайности зерна обоих сортов озимой ржи в вариантах с калием по сравнению с вариантами без калия независимо от срока внесения калийной селитры было обусловлено более высокой массой зерна с одного колоса, а не варьированием густоты продуктивного стеблестоя.

В 2020 г. у сорта Волхова при минимальной суммарной дозе азота N_{30} достоверное увеличение густоты продуктивного стеблестоя отмечено только в варианте с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры (таблица 4.2.3). Вероятно, дополнительное калийное питание при внесении удобрений весной способствовало лучшему усвоению растениями низкой дозы азота, увеличивая при этом продуктивную кустистость, что было отмечено и в

исследованиях других авторов (Якименко и Малюга, 2014; Турусов и др., 2020). При N_{60} по сравнению с контролем наблюдалось повышение густоты продуктивного стеблестоя, однако существенных различий между вариантами при данной суммарной дозе азота не обнаружено. При этом существенна разница между вариантами по массе зерна с одного колоса. Так, в варианте с весенним внесением аммиачной и калийной селитры масса зерна с одного колоса максимальна.

Таблица 4.2.3 – Элементы структуры урожая озимой ржи при разных вариантах применения удобрений, сорт Волхова, 2020 г.

Вариант	Густота продуктивного стеблестоя, шт./м^2	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зёрен, г	Число зёрен в колосе, шт.
контроль	141	1,53	36,0	43
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+ $N_{20}K_0$(в)	237	1,02	36,0	28
$N_{10}K_{40}$(ос)+ $N_{20}K_0$(в)	216	1,00	35,8	28
$N_{30}K_0$(в)	208	1,40	36,6	38
$N_{30}K_{40}$(в)	298	1,30	36,5	36
Среднее	240	1,18	36,2	33
$НСР_{0,05}$	31	0,17	1,4	3
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+ $N_{40}K_0$(в)	272	1,22	35,8	34
$N_{20}K_{80}$(ос)+ $N_{40}K_0$(в)	241	1,32	36,0	37
$N_{60}K_0$(в)	276	1,19	36,2	33
$N_{60}K_{80}$(в)	264	1,57	36,3	43
Среднее	263	1,33	36,1	37
$НСР_{0,05}$	44	0,22	1,7	4
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+ $N_{60}K_0$(в)	268	1,30	36,0	36
$N_{30}K_{120}$(ос)+ $N_{60}K_0$(в)	300	1,08	36,6	28
$N_{90}K_0$(в)	366	1,02	36,3	30
$N_{90}K_{120}$(в)	264	1,36	35,9	38
Среднее	300	1,19	36,2	33
$НСР_{0,05}$	41	0,18	1,6	3
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

При суммарной дозе азота N_{90} в 2020 г. из всех вариантов максимальная густота продуктивного стеблестоя у сорта Волхова отмечена в варианте с единовременным внесением весной одной аммиачной селитры. Однако в этом же

варианте отмечена и минимальная масса зерна с одного колоса, что обусловлено преобладанием плохо опылившихся с малым количеством семян колосьев подгона.

Сорт Эврика в 2020 г. при суммарной дозе азота N_{30} не имел достоверных различий по густоте продуктивного стеблестоя и массе зерна с колоса во всех вариантах за исключением варианта с осенним внесением калийной селитры, где была отмечена минимальная масса зерна с колоса (таблица 4.2.4). При N_{60} и N_{90} максимальная густота продуктивного стеблестоя отмечена в варианте с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры, однако масса зерна с одного колоса в этом варианте оказалась минимальной.

Таблица 4.2.4 – Элементы структуры урожая озимой ржи при разных вариантах применения удобрений, сорт Эврика, 2020 г.

Вариант	Густота продуктивного стеблестоя, шт./м^2	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зёрен, г	Число зёрен в колосе, шт.
контроль	156	1,76	39,1	45
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+ $N_{20}K_0$(в)	214	1,58	39,1	40
$N_{10}K_{40}$(ос)+ $N_{20}K_0$(в)	228	1,35	39,6	34
$N_{30}K_0$(в)	243	1,48	38,9	38
$N_{30}K_{40}$(в)	236	1,48	39,2	38
Среднее	230	1,47	39,2	37
$НСР_{0,05}$	37	0,11	2,2	3
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+ $N_{40}K_0$(в)	260	1,60	39,1	41
$N_{20}K_{80}$(ос)+ $N_{40}K_0$(в)	227	1,80	39,0	46
$N_{60}K_0$(в)	290	1,58	38,9	41
$N_{60}K_{80}$(в)	376	1,09	39,1	28
Среднее	288	1,52	39,0	39
$НСР_{0,05}$	38	0,11	2,4	4
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+ $N_{60}K_0$(в)	246	1,94	39,0	50
$N_{30}K_{120}$(ос)+ $N_{60}K_0$(в)	260	1,51	38,9	39
$N_{90}K_0$(в)	236	1,86	39,2	47
$N_{90}K_{120}$(в)	358	1,44	38,8	37
Среднее	275	1,69	39,0	43
$НСР_{0,05}$	39	0,14	2,3	4
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

Проведение корреляционного анализа показало, что в 2020 г. у сорта Волхова

при суммарной дозе азота N_{30} наблюдалась сильная положительная зависимость между урожаем зерна и густотой продуктивного стеблестоя (r = 0,79), а также между урожаем зерна и массой зерна с одного колоса (r = 0,75). При N_{60} зависимость урожайности от густоты продуктивного стеблестоя незначима (r = 0,15), но проявилась сильная положительная зависимость от массы зерна с одного колоса (r = 0,90). При N_{90} каких-либо значимых зависимостей между урожайностью и массой зерна с одного колоса не обнаружено (r = 0,22), однако отмечена умеренная положительная зависимость между урожайностью и густотой продуктивного стеблестоя (r = 0,58).

У сорта Эврика в 2020 г. при суммарной дозе азота N_{30} урожайность зерна была связана сильной положительной зависимостью с массой зерна с колоса (r = 0,77), а с продуктивным стеблестоем связь была незначимой (r = 0,12). При N_{60} урожай зерна был практически одинаков во всех вариантах, при этом более низкая густота продуктивного стеблестоя компенсировалась более высокой массой зерна с одного колоса (таблица 4.2.4). При этом в варианте с максимальным количеством продуктивных стеблей масса зерна с колоса была минимальной – 376 шт./м^2 и 1,09 г соответственно. Сходная тенденция компенсации низкой густоты продуктивного стеблестоя более высокой массой зерна с одного колоса наблюдается и при N_{90}, однако уменьшение массы зерна с одного колоса при увеличении числа продуктивных стеблей при высокой суммарной дозе азота не столь значительно и урожайность положительно коррелирует с густотой продуктивного стеблестоя (r = 0,67).

Таким образом, у сорта Волхова при благоприятных гидротермических условиях весенне-летнего периода вегетации 2020 г. существенное увеличение урожайности в варианте с весенним внесением аммиачной и калийной селитры по сравнению с вариантом весеннего внесения одной аммиачной селитры происходило при суммарной дозе азота N_{30} за счёт увеличения густоты продуктивного стеблестоя, при N_{60} – за счет увеличения и густоты продуктивного стеблестоя, и массы зерна с одного колоса. У сорта Эврика положительное влияние весеннего внесения калийной селитры на урожайность зерна существенно

проявлялось только при суммарной дозе азота N_{90}, при этом увеличение урожайности происходило за счет увеличения густоты продуктивного стеблестоя, но не массы зерна с одного колоса.

В 2021 году у обоих сортов озимой ржи при суммарной дозе азота N_{30} отмечена большая густота продуктивного стеблестоя и меньшая масса зерна с одного колоса при единовременном весеннем внесении как азотных, так и калийных удобрений по сравнению с их дробным внесением (таблицы 4.2.5 и 4.2.6).

Таблица 4.2.5 – Элементы структуры урожая озимой ржи при разных вариантах применения удобрений, сорт Волхова, 2021 г.

Вариант	Густота продуктивного стеблестоя, шт./м^2	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зёрен, г	Число зёрен в колосе, шт.
контроль	200	0,70	36,8	19
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+ $N_{20}K_0$(в)	254	1,13	36,0	32
$N_{10}K_{40}$(ос)+ $N_{20}K_0$(в)	228	1,04	36,8	29
$N_{30}K_0$(в)	300	0,58	37,2	16
$N_{30}K_{40}$(в)	280	0,47	36,5	14
Среднее	265	0,81	36,6	23
$НСР_{0,05}$	29	0,20	1,6	3
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+ $N_{40}K_0$(в)	232	1,21	37,8	32
$N_{20}K_{80}$(ос)+ $N_{40}K_0$(в)	300	0,88	36,8	24
$N_{60}K_0$(в)	264	0,85	37,5	23
$N_{60}K_{80}$(в)	342	0,79	36,5	22
Среднее	285	0,93	37,2	25
$НСР_{0,05}$	35	0,17	1,9	2
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+ $N_{60}K_0$(в)	192	0,90	37,1	24
$N_{30}K_{120}$(ос)+ $N_{60}K_0$(в)	252	0,86	36,3	24
$N_{90}K_0$(в)	200	0,82	36,7	22
$N_{90}K_{120}$(в)	256	0,86	36,4	24
Среднее	225	0,86	36,6	24
$НСР_{0,05}$	31	0,15	1,9	2
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

При суммарной дозе азота N_{60} в 2021 г. у сорта Волхова максимальная густота продуктивного стеблестоя наблюдалась в вариантах как с осенним, так и с

весенним внесением калийной селитры, а у сорта Эврика – в вариантах с единовременным весенним внесением как одной аммиачной селитры, так и аммиачной селитры с калийной. При этом у обоих сортов озимой ржи как при N_{30}, так и при N_{60} прослеживается тенденция к уменьшению массы зерна с колоса с увеличением густоты продуктивного стеблестоя.При N_{90} у сорта Волхова весеннее внесение калия повышало густоту продуктивного стеблестоя по сравнению с вариантом без калия, у сорта Эврика этот эффект не достоверен. Масса зерна с колоса у сорта Волхова при N_{90} не имела достоверных различий во всех вариантах, однако у сорта Эврика в вариантах с внесением калийной селитры как осенью, так и весной она оказалась существенно выше, чем в вариантах без её внесения.

Таблица 4.2.6 – Элементы структуры урожая озимой ржи у сорта Эврика при разных вариантах применения удобрений, 2021 г.

Вариант	Густота продуктивного стеблестоя, шт./м^2	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зёрен, г	Число зёрен в колосе, шт.
контроль	165	1,34	35,0	38
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+ $N_{20}K_0$(в)	170	1,43	34,5	42
$N_{10}K_{40}$(ос)+ $N_{20}K_0$(в)	168	1,42	34,8	41
$N_{30}K_0$(в)	199	1,14	35,1	32
$N_{30}K_{40}$(в)	207	1,18	34,9	34
Среднее	186	1,29	34,8	37
$НСР_{0,05}$	29	0,15	1,8	3
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+ $N_{40}K_0$(в)	179	1,51	35,2	43
$N_{20}K_{80}$(ос)+ $N_{40}K_0$(в)	185	1,38	35,5	39
$N_{60}K_0$(в)	225	1,17	34,9	34
$N_{60}K_{80}$(в)	208	1,38	34,5	40
Среднее	199	1,36	35,0	39
$НСР_{0,05}$	27	0,16	1,9	4
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+ $N_{60}K_0$(в)	190	1,42	34,8	41
$N_{30}K_{120}$(ос)+ $N_{60}K_0$(в)	189	1,80	35,5	51
$N_{90}K_0$(в)	210	1,24	34,5	36
$N_{90}K_{120}$(в)	215	1,48	34,9	42
Среднее	201	1,49	34,9	43
$НСР_{0,05}$	28	0,12	2,2	4
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

Рассматривая зависимости между урожайностью зерна и густотой продуктивного стеблестоя и массой зерна с одного колоса в 2021 году, следует отметить, что в гидротермических условиях текущего года хорошо раскустившиеся весной растения обоих сортов озимой ржи в большей степени отрицательно реагировали на последующий недостаток увлажнения в репродуктивный период (ГТК = 0,3), чем слабо раскустившиеся. При суммарной дозе N_{30} урожайность зерна отрицательно коррелировала с густотой продуктивного стеблестоя: r = - 0,66 у сорта Волхова и r = - 0,96 у сорта Эврика. При этом растения изученных сортов озимой ржи с меньшей густотой продуктивного стеблестоя формировали б**о**льшую массу зерна с одного колоса, что в итоге и определило сильную положительную зависимость урожайности от массы зерна с одного колоса: r = 0,96 и r = 0,98 у сорта Волхова и сорта Эврика соответственно.

При суммарной дозе азота N_{60} в 2021 г. густота продуктивного стеблестоя у сорта Волхова переставала отрицательно коррелировать с урожайностью (r = 0,05), при этом урожайность зерна положительно коррелировала с массой зерна с одного колоса (r = 0,58). У сорта Эврика при этом же уровне питания наблюдалась отрицательная зависимость между урожайностью и густотой продуктивного стеблестоя (r = - 0,96) и положительная – между урожайностью и массой зерна с колоса (r = 0,98).

При суммарной дозе азота N_{90} из-за отрицательного влияния на выживаемость растений высокой дозы минеральных удобрений в условиях низкой влагообеспеченности репродуктивного периода в 2021 г. у сорта Волхова при снижении нагрузки конкуренции за ресурсы наблюдается прямая зависимость урожайности от густоты продуктивного стеблестоя (r = 0,97) при отсутствии зависимости урожайности от массы зерна с одного колоса (r = 0,14). У сорта Эврика редукция стеблестоя не была столь выражена, как у сорта Волхова, поэтому при сильной конкуренции сохраняется отрицательная зависимость урожайности от густоты продуктивного стеблестоя (r = - 0,82) и наблюдается положительная зависимость от массы зерна с одного колоса (r = 0,91).

В среднем за годы проведения исследований максимальная величина густоты

продуктивного стеблестоя у обоих сортов озимой ржи отмечена в варианте с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры в дозе $N_{60}K_{80}$ (таблицы 4.2.7 и 4.2.8). В этом же варианте у сорта Волхова была сформирована максимальная урожайность зерна и одна из самых высоких масса зерна с одного колоса (таблица 3.4.4).

Таблица 4.2.7 – Элементы структуры урожая у сорта Волхова при разных вариантах применения удобрений, среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Густота продуктивного стеблестоя, шт./м^2	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зёрен, г	Число зёрен в колосе, шт.
Контроль (без удобрений)	160	1,23	36,8	33
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+ $N_{20}K_0$(в)	216	1,26	36,7	34
$N_{10}K_{40}$(ос)+ $N_{20}K_0$(в)	199	1,22	36,7	33
$N_{30}K_0$(в)	229	1,07	37,2	29
$N_{30}K_{40}$(в)	259	1,01	36,9	27
Среднее	226	1,14	36,8	31
$НСР_{0,05}$	23	0,16	1,2	3
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+ $N_{40}K_0$(в)	225	1,41	37,0	38
$N_{20}K_{80}$(ос)+ $N_{40}K_0$(в)	237	1,32	36,6	36
$N_{60}K_0$(в)	250	1,12	37,1	30
$N_{60}K_{80}$(в)	273	1,34	36,8	36
Среднее	246	1,30	36,9	35
$НСР_{0,05}$	30	0,16	1,4	3
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+ $N_{60}K_0$(в)	217	1,09	37,0	29
$N_{30}K_{120}$(ос)+ $N_{60}K_0$(в)	242	1,00	36,7	27
$N_{90}K_0$(в)	265	0,93	36,7	25
$N_{90}K_{120}$(в)	243	1,07	36,5	29
Среднее	242	1,02	36,7	28
$НСР_{0,05}$	27	0,16	1,3	2
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

У сорта Эврика в среднем за годы опыта максимальная масса зерна с одного колоса была сформирована при N_{90} в варианте с осенним внесением калийной селитры, однако по урожайности зерна этот вариант опыта уступал варианту при той же суммарной дозе азота N_{90} с внесением калийной селитры весной.

Проведение регрессионного анализа позволило получить уравнения регрессии, представленные в таблице 4.2.9. Применение калийной селитры в осенний период повышало густоту продуктивного стеблестоя (+ $N_1 \times K_1$) у сорта Волхова (таблица 4.2.9). Однако б**о**льшее влияние на густоту продуктивного стеблестоя оказывало весеннее внесение аммиачной и калийной селитры – с возрастанием доз азота и калия при весеннем внесении густота продуктивного стеблестоя увеличивалась, хотя каждая последующая доза удобрений, особенно при совместном применении, приводила к меньшему увеличению густоты продуктивного стеблестоя по сравнению с предыдущей.

Таблица 4.2.8 – Элементы структуры урожая, сорт Эврика при разных вариантах применения удобрений, среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Густота продуктивного стеблестоя, шт./м^2	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зёрен, г	Число зёрен в колосе, шт.
контроль	145	1,40	38,1	37
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+ $N_{20}K_0$(в)	210	1,23	37,8	33
$N_{10}K_{40}$(ос)+ $N_{20}K_0$(в)	194	1,29	38,3	34
$N_{30}K_0$(в)	239	1,08	38,0	28
$N_{30}K_{40}$(в)	248	1,05	38,0	28
Среднее	223	1,16	38,0	31
$НСР_{0,05}$	24	0,10	1,6	2
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+ $N_{40}K_0$(в)	227	1,33	38,1	35
$N_{20}K_{80}$(ос)+ $N_{40}K_0$(в)	203	1,46	38,4	38
$N_{60}K_0$(в)	261	1,13	37,9	30
$N_{60}K_{80}$(в)	293	1,01	37,7	27
Среднее	246	1,23	38,0	33
$НСР_{0,05}$	27	0,12	2,0	3
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+ $N_{60}K_0$(в)	197	1,53	37,7	41
$N_{30}K_{120}$(ос)+ $N_{60}K_0$(в)	202	1,55	37,9	41
$N_{90}K_0$(в)	227	1,28	38,0	34
$N_{90}K_{120}$(в)	282	1,19	37,9	31
Среднее	227	1,39	37,8	37
$НСР_{0,05}$	29	0,12	2,1	3
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

У сорта Эврика обнаружены такие же зависимости густоты продуктивного стеблестоя от доз и сроков применения азота и калия за исключением того, что высокие дозы калия осенью для этого сорта оказались неэффективны.

Таблица 4.2.9 – Зависимость показателей структуры урожая (Y) озимой ржи от доз и сроков применения азотных и калийных удобрений (2019–2021 гг.)

Показатель (Y)	Уравнение регрессии (n = 13)	R^2
ПС, Волхова	$Y = 165{,}146 + 7{,}834N_1 \times K_1 - 39{,}134N_1^2 + 75{,}683N_2 - 14{,}518N_2^2 + 43{,}946K_2 - 16{,}917N_2 \times K_2$	0,925*
ПС, Эврика	$Y = 147{,}441 + 30{,}152N_1 \times K_1 - 29{,}242K_1 - 67{,}653N_1^2 + 125{,}479N_2 - 33{,}217N_2^2 + 6{,}448K_2^2$	0,992*
МЗК, Волхова	$Y = 1{,}103 + 0{,}945N_1 - 0{,}980N_1^2$	0,351*
МЗК, Эврика	$Y = 1{,}158 + 0{,}369N_1^2$	0,639*
МТЗ, Волхова	Y = 36,82 - const	0,000
МТЗ, Эврика	Y = 37,98 - const	0,000
ЧЗК, Волхова	$Y = 29{,}670 + 26{,}518N_1 - 27{,}535N_1^2$	0,381*
ЧЗК, Эврика	$Y = 30{,}586 + 9{,}846N_1$	0,650*
П р и м е ч а н и е: n – общее число наблюдений; ПС – густота продуктивного стеблестоя, шт./м^2; МЗК – масса зерна с одного колоса, г; МТЗ – масса 1000 зёрен, г; ЧЗК – число зёрен в колосе, шт.; * – статистически значимо на уровне 0,05		

Масса зерна с одного колоса у обоих сортов озимой ржи зависела только от азота, внесенного осенью (таблица 4.2.9). При этом масса зерна с одного колоса у обоих сортов возрастала с увеличением дозы азота, однако у сорта Волхова каждая последующая доза азота приводила к меньшему увеличению массы зерна с колоса по сравнению с предыдущей. Аналогичные тенденции под действием различных доз и сроков применения азотных удобрений отмечены у обоих сортов озимой ржи и в изменении числа зёрен в колосе. Исследованиями не отмечено каких-либо существенных изменений массы 1000 зёрен у обоих сортов озимой ржи, происходящих под действием минеральных удобрений.

Таким образом, максимальное существенное положительное влияние на густоту продуктивного стеблестоя озимой ржи оказывали азот и калий при весеннем их применении, на массу зерна с колоса – только азот при осеннем внесении. При этом урожайность зерна сорта Волхова при низкой (N_{30}) и высокой (N_{90}) суммарной дозе азота определялась в основном густотой продуктивного стеблестоя (r = 0,57 и r = 0,75 соответственно), при N_{60} – как густотой продуктивного стеблестоя, так и массой зерна с колоса (r = 0,58 и r = 0,62

соответственно). Урожайность зерна сорта Эврика при N_{30} и N_{60} была связана положительной зависимостью с массой зерна с колоса (r = 0,61 и r = 0,96 соответственно) и отрицательно – с густотой продуктивного стеблестоя (r = -0,60 и r = -0,97 соответственно), а при высокой суммарной дозе азота (N_{90}) – положительно с густотой продуктивного стеблестоя (r = 0,60).

Выводы по главе

С повышением доз азота как при осеннем, так и весеннем внесении, высота растений обоих сортов озимой ржи увеличивалась. Весеннее внесение калия не оказывало существенного влияния на высоту растений обоих сортов, при осеннем внесении калия увеличивалась высота растений только у сорта Волхова.

У обоих сортов озимой ржи не обнаружена зависимость между высотой растений и степенью их полегания. При этом только у сорта Волхова наблюдалась положительная зависимость между урожайностью и степенью полегания растений, то есть, увеличение урожайности зерна за счет применения минеральных удобрений усиливало склонность растений сорта Волхова к полеганию.

Максимальное существенное влияние на густоту продуктивного стеблестоя обоих сортов озимой ржи оказывали азот и калий при весеннем их применении, на массу зерна с колоса – только азот при осеннем внесении. При этом урожайность зерна сорта Волхова при низкой (N_{30}) и высокой (N_{90}) суммарной дозе азота определялась в основном густотой продуктивного стеблестоя, при средней (N_{60}) – как густотой продуктивного стеблестоя, так и массой зерна с одного колоса. Урожайность зерна сорта Эврика при низкой и средней суммарных дозах азота была связана положительной зависимостью с массой зерна с колоса и отрицательной – с густотой продуктивного стеблестоя, а при высокой (N_{90}) – положительной с густотой продуктивного стеблестоя.

ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ АММИАЧНОЙ И КАЛИЙНОЙ СЕЛИТРЫ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА И БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕРНА ОЗИМОЙ РЖИ

5.1 Влияние аммиачной и калийной селитры на натуру зерна и величину показателя «число падения»

Известно, что натура зерна и показатель «число падения» у озимой ржи – одни из основных показателей, определяющих его пригодность для выпечки хлеба и регламентируемые «ГОСТ 16990 – 2017. Рожь. Технические условия». В год с избытком влаги (2019 г.) и в год с нормальным увлажнением в репродуктивный период (цветение – полная спелость) (2020 г.) у обоих сортов озимой ржи, независимо от варианта применения калия при низкой и средней суммарной дозе азота натура зерна практически не отличалась от контроля (таблицы 5.1.1, 5.1.2). При высокой суммарной дозе азота (N_{90}) у сорта Эврика, независимо от срока внесения калия, отмечена тенденция к снижению натуры зерна. У сорта Волхова при весеннем внесении удобрений проявлялся положительный эффект от применения калийной селитры, и снижение натуры зерна наблюдалось только в варианте с использованием одной аммиачной селитры, то есть применение калийного удобрения уменьшало отрицательное влияние вносимых в один прием высоких доз азота на натуру зерна озимой ржи, что отмечено ранее и в работе (Шишков и др., 2024).

В засушливых условиях в репродуктивный период в 2021 году у обоих сортов озимой ржи во всех вариантах с внесением минеральных удобрений натура зерна по сравнению с контролем снижалась, причем тем сильнее, чем была выше доза минеральных удобрений.

Проведение множественного регрессионного анализа показало (7, 8), что натура зерна обоих сортов озимой ржи (Y, г/л) существенно определялась только весенним применением азотных и калийных удобрений. При этом каждая последующая доза калия приводила к б**о**льшему увеличению, а каждая

последующая доза азота - к большему уменьшению натуры по сравнению с предыдущими:

$$Y\ (\text{Волхова}) = 644{,}099 + 1{,}167K_2^2 - 2{,}365N_2^2;\ R^2 = 0{,}765^* \quad (7)$$

$$Y\ (\text{Эврика}) = 689{,}587 + 0{,}479K_2^2 - 2{,}012N_2^2;\ R^2 = 0{,}933^* \quad (8)$$

Таблица 5.1.1 – Натура зерна у сорта Волхова при разных вариантах применения удобрений

Вариант	Натура зерна, г/л			
	2019	2020	2021	среднее за три года
Контроль (без удобрений)	704	705	682	697
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	700	707	658	688
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	707	712	668	696
$N_{30}K_0$(в)	709	709	657	692
$N_{30}K_{40}$(в)	705	711	660	692
Среднее	705	710	661	692
$НСР_{0,05}$	13	10	15	10
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	703	715	643	687
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	701	714	646	687
$N_{60}K_0$(в)	705	711	650	689
$N_{60}K_{80}$(в)	708	714	642	688
Среднее	704	713	645	688
$НСР_{0,05}$	10	10	15	10
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	707	718	634	686
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	702	720	642	688
$N_{90}K_0$(в)	688	683	640	670
$N_{90}K_{120}$(в)	701	712	638	684
Среднее	700	708	639	682
$НСР_{0,05}$	11	12	10	9
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

Необходимо отметить, что по величине натурной массы в первый (2019 г.) и второй (2020 г.) годы опыта у сорта Волхова во всех случаях, за исключением варианта с единовременным весенним внесением высокой дозы аммиачной селитры (N_{90}), получено зерно, соответствующее по ее величине I классу качества (более 700 г/л). При этом у сорта Эврика в эти годы зерно, не соответствующее по величине натуры I классу качества, получено при N_{90} независимо от внесения

калия. В условиях засухи в репродуктивный период (2021 г.) зерно обоих сортов по величине натуры соответствовало только III классу качества (640–680 г/л).

Таблица 5.1.2 – Натура зерна у сорта Эврика при разных вариантах применения удобрений

Вариант	Натура зерна, г/л			
	2019	2020	2021	Среднее за три года
Контроль (без удобрений)	691	695	680	689
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	704	707	653	688
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	706	704	656	689
$N_{30}K_0$(в)	706	701	658	688
$N_{30}K_{40}$(в)	702	701	664	689
Среднее	704	703	658	689
$НСР_{0,05}$	14	9	15	10
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	703	706	644	684
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	705	704	646	685
$N_{60}K_0$(в)	709	701	642	684
$N_{60}K_{80}$(в)	703	702	649	685
Среднее	705	703	645	685
$НСР_{0,05}$	9	7	9	7
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	702	704	644	683
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	700	705	636	680
$N_{90}K_0$(в)	681	685	645	671
$N_{90}K_{120}$(в)	683	688	643	675
Среднее	692	695	642	677
$НСР_{0,05}$	12	10	11	9
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

Итак, исследования показали, что при весеннем внесении высокой дозы азота (N_{90}) в один приём наблюдается устойчивая тенденция к снижению натуры зерна у обоих сортов озимой ржи. Весеннее внесение калия при N_{90} способно в некоторой степени нивелировать этот отрицательный эффект, особенно заметно проявившийся у сорта Волхова. Таким образом, при применении высоких доз азота весной под озимую рожь необходимо предусматривать и внесение калийных удобрений с целью получения зерна ржи, соответствующего более высокому классу по величине натуры.

«Число падения» у обоих сортов озимой ржи практически не зависело от доз и сроков применения как азотных, так и калийных удобрений и во все годы проведения полевого опыта в основном определялось условиями увлажнения, складывающимися в период налива зерна (таблицы 5.1.3 и 5.1.4). У обоих сортов озимой ржи в 2019 г. по величине показателя «число падения» зерно соответствовало только III классу (80–140 сек), в 2020 г. – II классу (140–200 сек) и в 2021 г. – I классу качества (более 200 сек).

Таблица 5.1.3 – «Число падения» у сорта Волхова при разных вариантах применения удобрений

Вариант	«Число падения», с			
	2019	2020	2021	Среднее за три года
Контроль (без удобрений)	83	151	212	149
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	86	172	226	161
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	85	170	218	158
$N_{30}K_0$(в)	88	167	214	156
$N_{30}K_{40}$(в)	89	173	227	163
Среднее	87	171	221	160
$НСР_{0,05}$	5	8	15	7
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	89	164	215	156
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	88	160	213	154
$N_{60}K_0$(в)	89	170	224	161
$N_{60}K_{80}$(в)	87	167	225	160
Среднее	88	165	219	158
$НСР_{0,05}$	4	10	12	7
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	87	171	222	160
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	90	165	220	158
$N_{90}K_0$(в)	86	169	228	161
$N_{90}K_{120}$(в)	89	173	228	163
Среднее	88	170	225	161
$НСР_{0,05}$	5	8	11	7
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

Как показали приведенные ниже уравнения регрессии (9, 10), отражающие величину показателя «число падения» от доз и сроков применения азотных и калийных удобрений (Y, сек) его величина у сорта Волхова незначительно (R^2 =

0,310) определялась только применением азота весной:

$$Y\ (\text{Волхова}) = 154{,}355 + 2{,}669N_2;\ R^2 = 0{,}310^* \quad (9)$$

$$Y\ (\text{Эврика}) = 157{,}146 + 11{,}281N_2 - 2{,}914N_2^2 - 1{,}649N_1{\times}K_1;\ R^2 = 0{,}588^* \quad (10)$$

Таблица 5.1.4 – «Число падения» у сорта Эврика при разных вариантах применения удобрений

Вариант	«Число падения», с			
	2019	2020	2021	Среднее за три года
Контроль (без удобрений)	80	164	218	154
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	91	178	229	166
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	88	184	230	167
$N_{30}K_0$(в)	87	187	224	166
$N_{30}K_{40}$(в)	87	181	228	165
Среднее	88	183	228	166
$НСР_{0,05}$	4	9	12	7
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	88	179	232	166
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	84	182	227	164
$N_{60}K_0$(в)	85	184	225	165
$N_{60}K_{80}$(в)	90	185	230	168
Среднее	87	183	229	166
$НСР_{0,05}$	6	10	13	8
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	90	183	230	168
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	86	178	225	163
$N_{90}K_0$(в)	84	185	227	165
$N_{90}K_{120}$(в)	86	186	226	166
Среднее	87	183	227	165
$НСР_{0,05}$	6	10	10	7
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

У сорта Эврика осеннее внесение калийной селитры (- $N_1{\times}K_1$) приводило к снижению величины показателя «число падения», а при весеннем внесении азота наблюдалось его повышение, однако каждая последующая доза азота приводила к меньшему увеличению показателя «число падения» по сравнению с предыдущей (+ N_2). Следует отметить, что сравнительно низкие величины коэффициента детерминации (R^2) позволяют сделать заключение о том, что на величину

показателя «число падения» оказывали существенное влияние и другие факторы, в частности, уровень увлажнения в период налива зерна.

5.2 Влияние аммиачной и калийной селитры на содержание сырого белка в зерне и валовой сбор белка с урожаем зерна

В первый год опыта (2019 г.) у обоих сортов Эврика и Волхова содержание белка в зерне в среднем по вариантам при суммарной дозе азота N_{30} оставалось на уровне контроля (11,4 %), а при повышенных дозах азота N_{60} и N_{90} наблюдалась тенденция к снижению белковости по сравнению с контролем (11,2 %, 11,0 % и 11,2 %, 11,1 % для сорта Эврика и Волхова соответственно) (таблицы 5.2.1 и 5.2.2). Вероятно, это стало следствием сложившихся гидротермических условий в июле, на который полностью приходился «налив зерна». При этом количество выпавших осадков существенно превысило среднемноголетнюю норму, а температура воздуха оказалась значительно ниже нормы. Внесение азота в средней и высокой дозе (N_{60} и N_{90} соответственно) при хорошей увлажненности почвы способствовало усилению ростовых процессов, тогда как температура была недостаточно благоприятной для процесса накопления белка. В пределах каждой суммарной дозы азота между вариантами с внесением и без внесения калия существенных различий в накоплении белка не отмечено у обоих сортов. Исключение составил вариант с дробным внесением аммиачной селитры при высокой суммарной дозе азота (N_{30} осенью + N_{60} весной) у сорта Эврика, где содержание сырого белка в зерне оказалось достоверно ниже, чем в остальных вариантах.

Во второй год опыта (2020 г.) у сорта Волхова содержание белка было ниже, чем в 2019 г. и варьировало в пределах 9,6–10,5 %. При суммарной дозе азота N_{30} в 2020 г. по содержанию белка в зерне достоверных различий по сравнению с контролем и между вариантами не наблюдалось, а при N_{60} и N_{90} отмечена тенденция к увеличению содержания белка по сравнению с контролем, однако достоверных различий между вариантами внутри каждой суммарной дозы азота не отмечено. При этом у сорта Эврика, как и в 2019 г., в варианте с дробным внесением аммиачной селитры при высокой дозе азота (N_{30} осенью + N_{60} весной) содержание

сырого белка в зерне оказалось достоверно ниже, чем в остальных вариантах при N_{90}. Это можно объяснить тем, что при дробном осенне-весеннем внесении удобрений доза весеннего азота составляла 60 кг/га д.в. (30 кг/га вносили осенью), тогда как при единовременном весеннем внесении удобрений доза весеннего азота составляла 90 кг/га д.в. Отсутствие снижения содержания сырого белка в зерне в варианте с дробным осенне-весенним внесением аммиачной и калийной селитры можно объяснить влиянием высокой дозы калия в этом варианте. Положительное влияние высоких доз калия на процессы усвоения растениями азота было показано для озимой пшеницы, а также для культурного смешанного агроценоза в многолетнем стационарном опыте (Карманенко, 1993; Якименко и Малюга, 2014).

Таблица 5.2.1 – Содержание сырого белка в зерне сорта Волхова при разных вариантах применения удобрений

Вариант	Сырой белок, % а. с. в.			
	2019	2020	2021	Среднее за три года
Контроль (без удобрений)	11,4	9,6	12,2	11,1
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	11,4	9,8	12,2	11,1
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	11,4	9,7	12,2	11,1
$N_{30}K_0$(в)	11,4	9,8	11,2	10,8
$N_{30}K_{40}$(в)	11,5	9,6	12,0	11,0
Среднее	11,4	9,7	11,9	11,0
$НСР_{0,05}$	0,2	0,2	0,3	0,3
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	11,3	10,2	12,0	11,2
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	11,2	10,5	12,0	11,2
$N_{60}K_0$(в)	11,2	10,4	12,2	11,3
$N_{60}K_{80}$(в)	11,3	10,5	12,2	11,3
Среднее	11,2	10,4	12,1	11,2
$НСР_{0,05}$	0,2	0,3	0,3	0,3
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	11,0	10,4	12,2	11,2
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	11,1	10,4	12,1	11,2
$N_{90}K_0$(в)	11,1	10,5	12,7	11,4
$N_{90}K_{120}$(в)	11,0	10,2	12,3	11,2
Среднее	11,1	10,4	12,3	11,3
$НСР_{0,05}$	0,2	0,3	0,3	0,3
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

В условиях жаркого и сухого лета 2021 года содержание белка в зерне обоих сортов озимой ржи было максимальным за годы проведения исследований и находилось в пределах 11,2–12,7 % у сорта Волхова и 11,7–12,3 % у сорта Эврика. В пределах каждой суммарной дозы азота у обоих сортов озимой ржи по вариантам с внесением и без внесения калия существенных различий в накоплении белка не происходило, за исключением варианта с единовременным весенним внесением аммиачной селитры при N_{90} у сорта Волхова, в котором содержание белка в зерне оказалось достоверно выше, чем в остальных вариантах при данной дозе азота.

Таблица 5.2.2 – Содержание сырого белка в зерне сорта Эврика при разных вариантах применения удобрений

Вариант	Сырой белок, % а. с. в.			
	2019	2020	2021	Среднее за три года
Контроль (без удобрений)	11,4	9,7	12,0	11,0
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	11,4	9,7	12,0	11,1
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	11,4	9,6	12,0	11,0
$N_{30}K_0$(в)	11,4	9,7	11,9	11,0
$N_{30}K_{40}$(в)	11,4	9,4	11,9	10,9
Среднее	11,4	9,6	12,0	11,0
$НСР_{0,05}$	0,2	0,3	0,2	0,2
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	11,0	9,5	12,0	10,9
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	11,2	9,3	12,1	10,9
$N_{60}K_0$(в)	11,3	9,4	11,9	10,9
$N_{60}K_{80}$(в)	11,3	9,3	12,3	11,0
Среднее	11,2	9,4	12,1	10,9
$НСР_{0,05}$	0,3	0,2	0,4	0,2
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	10,7	9,5	11,9	10,7
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	11,1	10,4	11,9	11,1
$N_{90}K_0$(в)	11,2	10,2	11,7	11,0
$N_{90}K_{120}$(в)	11,1	10,0	12,0	11,0
Среднее	11,0	10,0	11,9	11,0
$НСР_{0,05}$	0,2	0,2	0,3	0,3
Примечание: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

В среднем за годы опыта у сорта Волхова содержание белка в зерне варьировало по вариантам опыта в пределах 10,8–11,4 %, а у сорта Эврика – 10,7 –

11,1 %, при этом среднее по годам исследований содержание белка в зерне у обоих сортов варьировало в большей степени – 9,7 % в 2020 г., 11,2 % в 2019 г. и 12,1 % в 2021 г.

Известно, что валовой сбор белка является одним из показателей оценки эффективности применения удобрений и определяется величиной урожая зерна и содержанием белка в нем. В первый год (2019 г.) валовой сбор белка прямо определялся урожаем зерна у обоих сортов озимой ржи (r = 0,99 у Эврики и r = 0,98 у Волховы), а у сорта Эврика был максимальным при суммарной дозе азота N_{90} как в варианте с дробным осенне-весенним, так и в варианте с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры, а у сорта Волхова – при суммарной дозе азота N_{60} в варианте с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры (таблицы 5.2.3 и 5.2.4).

Выше было показано (таблицы 5.2.1 и 5.2.2), что белковость зерна у обоих сортов в 2020 году оказалась ниже, чем в первый год проведения опыта, однако валовой сбор белка с урожаем зерна был значительно выше вследствие более высокой урожайности в текущем году. У сорта Эврика он был максимальным при N_{90}, а у сорта Волхова – при N_{60} в варианте с единовременным весенним внесением калийной и аммиачной селитры. Коэффициент корреляции между валовым сбором белка и урожайностью зерна у обоих сортов был положительным и составлял 0,97.

В сложившихся гидротермических условиях 2021 г. сорт озимой ржи Волхова, как более засухоустойчивый, сформировал более высокий уровень урожайности зерна, чем сорт Эврика, и, соответственно – максимальный валовой сбор белка (312,7 кг/га – Волхова и 256,7 кг/га – Эврика). Разница между вариантами по валовому сбору белка в текущем году практически полностью определялась разницей в урожайности зерна. Коэффициент корреляции между валовым сбором белка и урожайностью зерна у обоих сортов в текущем году был положителен и составлял 0,96.

Таким образом, валовой сбор белка в основном определялся уровнем урожайности зерна и в меньшей степени содержанием белка в зерне, то есть минимальный и максимальный валовой сбор белка соответствовал вариантам с

минимальной и максимальной урожайностью. При этом у сорта Эврика он был максимальным при суммарной дозе азота N_{90}, а у сорта Волхова – при N_{60} в варианте с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры.

Таблица 5.2.3 – Валовой сбор белка с урожаем зерна у сорта Волхова при разных вариантах применения удобрений

Вариант	Валовой сбор белка, кг/га			
	2019	2020	2021	Среднее за три года
Контроль (без удобрений)	208,5	186,5	151,2	182,1
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	262,3	211,5	312,7	262,2
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	249,3	182,2	258,4	230,0
$N_{30}K_0$(в)	227,8	255,9	174,7	219,5
$N_{30}K_{40}$(в)	256,6	326,1	141,2	241,3
Среднее	249,0	243,9	221,8	238,3
$НСР_{0,05}$	10,1	12,0	15,0	10,0
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	312,7	299,9	302,1	304,9
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	299,5	297,8	281,6	293,0
$N_{60}K_0$(в)	276,5	304,6	245,3	275,5
$N_{60}K_{80}$(в)	350,8	387,2	292,5	343,5
Среднее	309,9	322,4	280,4	304,2
$НСР_{0,05}$	10,5	11,5	16,1	10,4
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	193,9	325,0	187,8	235,6
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	194,0	282,7	233,7	236,8
$N_{90}K_0$(в)	195,9	321,5	183,0	233,5
$N_{90}K_{120}$(в)	202,3	327,5	239,9	256,6
Среднее	196,5	314,2	211,1	240,6
$НСР_{0,05}$	15,0	10,9	14,7	11,1
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

Приведенные ниже уравнения регрессии (11, 12) отражают зависимость сбора белка от доз и сроков применения аммиачной и калийной (Y, кг/га) селитры:

$$Y\ (Волхова) = 157{,}946 + 173{,}049N_1 + 120{,}087N_2 - 101{,}078N_1{\times}N_2 - 32{,}177N_2^2 + 16{,}257K_2;\ R^2 = 0{,}573^* \quad (11)$$

$$Y\ (Эврика) = 200{,}920 + 98{,}877N_1 + 29{,}919N_2 - 30{,}101N_1{\times}N_2 + 3{,}222K_2^2;\ R^2 = 0{,}629^* \quad (12)$$

Как видим, у обоих сортов осеннее и весеннее применение возрастающих доз азота и весеннее – калия, приводило к увеличению валового сбора белка. При этом каждая последующая доза аммиачной селитры, независимо от срока ее применения, приводила к меньшему увеличению сбора белка по сравнению с предыдущей (- $N_1 \times N_2$). Каждая последующая доза калийной селитры весной у сорта Волхова линейно увеличивала сбор белка (+ K_2), а у сорта Эврика - приводила к большему сбору белка по сравнению с предыдущей (+ K_2^2). Таким образом, сбор белка определялся теми же факторами, которые определяли урожайность и уровень накопления белка в зерне изученных сортов озимой ржи.

Таблица 5.2.4 – Валовой сбор белка с урожаем зерна у сорта Эврика при разных вариантах применения удобрений

Вариант	Валовой сбор белка, кг/га			
	2019	2020	2021	Среднее за три года
Контроль (без удобрений)	224,4	237,4	136,6	199,5
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	246,5	309,3	182,0	245,9
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	241,6	259,7	221,6	241,0
$N_{30}K_0$(в)	230,9	303,6	180,8	238,4
$N_{30}K_{40}$(в)	249,8	280,0	152,6	227,5
Среднее	242,2	288,2	184,3	238,2
$НСР_{0,05}$	8,6	10,0	10,2	7,9
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	265,9	354,8	228,6	283,1
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	255,5	339,9	256,7	284,0
$N_{60}K_0$(в)	265,8	373,0	183,8	274,2
$N_{60}K_{80}$(в)	288,8	340,9	179,0	269,6
Среднее	269,0	352,2	212,0	277,7
$НСР_{0,05}$	10,2	9,6	9,0	7,9
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	257,2	404,6	201,9	287,9
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	336,1	364,4	225,7	308,7
$N_{90}K_0$(в)	259,1	399,9	184,0	281,6
$N_{90}K_{120}$(в)	326,6	462,5	187,2	322,2
Среднее	294,8	407,9	199,7	300,1
$НСР_{0,05}$	11,6	9,0	9,8	8,3
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

5.3 Влияние аммиачной и калийной селитры на содержание крахмала в зерне

Известно, что крахмал является главным составляющим углеводного комплекса зерновых культур. Определение содержания крахмала в зерне озимой ржи показало, что в 2019 году в условиях прохладного дождливого лета его содержание в зерне обоих сортов варьировало в пределах 55,19–58,78 %. При этом каких-либо достоверных различий во всех вариантах полевого опыта не обнаружено (таблицы 5.3.1 и 5.3.2). Однако максимальное содержание крахмала отмечено в контрольном варианте.

Таблица 5.3.1 – Содержание крахмала в зерне у сорта Волхова при разных вариантах применения удобрений

Вариант	Крахмал, % а. с. в.			
	2019	2020	2021	Среднее за три года
Контроль (без удобрений)	58,78	53,46	67,51	59,92
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	56,69	58,86	62,36	59,30
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	57,36	53,27	64,21	58,28
$N_{30}K_0$(в)	56,82	56,52	58,10	57,14
$N_{30}K_{40}$(в)	55,19	52,00	61,92	56,37
Среднее	56,52	55,16	61,65	57,77
$НСР_{0,05}$	5,63	7,74	7,78	5,20
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	54,50	57,40	63,46	59,98
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	56,29	61,29	62,37	58,45
$N_{60}K_0$(в)	57,87	61,52	65,03	61,47
$N_{60}K_{80}$(в)	53,99	57,95	62,96	58,30
Среднее	55,66	59,54	63,46	59,55
$НСР_{0,05}$	5,50	6,24	6,16	5,08
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	55,69	60,85	68,00	59,53
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	56,51	61,01	61,06	61,51
$N_{90}K_0$(в)	58,23	67,67	67,13	64,34
$N_{90}K_{120}$(в)	55,60	58,26	63,06	58,97
Среднее	56,51	61,95	64,81	61,09
$НСР_{0,05}$	7,25	10,17	7,85	7,45
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

В 2020 году, как и в предыдущем, существенных различий по содержанию крахмала в зерне между вариантами в пределах каждой суммарной дозы азота не наблюдалось у обоих сортов. Однако у сорта Волхова необходимо отметить устойчивую тенденцию к увеличению содержания крахмала с возрастанием доз аммиачной и калийной селитры (55,16 %, 59,54 % и 61,95 % в среднем по вариантам при N_{30}, N_{60} и N_{90} соответственно).

В 2021 году у обоих сортов в изменении крахмала существенных различий по вариантам так же, как и в первый и второй годы проведения полевого опыта, не отмечено. Однако у сорта Волхова наблюдается устойчивая тенденция к увеличению содержания крахмала в зерне с возрастанием суммарной дозы азотных удобрений: 61,65 %, 63,46 % и 64,81 % в среднем при N_{30}, N_{60} и N_{90} соответственно.

Таблица 5.3.2 – Содержание крахмала в зерне у сорта Эврика при разных вариантах применения удобрений

Вариант	Крахмал, % а. с. в.			
	2019	2020	2021	Среднее за три года
Контроль (без удобрений)	56,92	53,32	62,05	57,43
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	54,57	55,17	63,24	57,66
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	56,52	49,67	62,90	56,36
$N_{30}K_0$(в)	52,40	53,85	61,99	56,08
$N_{30}K_{40}$(в)	54,96	50,97	62,15	56,03
Среднее	54,61	52,42	62,57	56,53
$НСР_{0,05}$	5,17	7,36	5,30	5,24
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	54,53	51,63	64,33	56,83
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	55,54	48,15	62,19	55,29
$N_{60}K_0$(в)	53,25	52,34	61,98	55,86
$N_{60}K_{80}$(в)	53,61	50,82	63,59	56,01
Среднее	54,23	50,74	63,02	56,00
$НСР_{0,05}$	7,14	6,78	7,66	5,45
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	54,10	48,20	62,62	54,97
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	54,05	53,49	59,02	55,52
$N_{90}K_0$(в)	54,58	53,02	56,97	54,86
$N_{90}K_{120}$(в)	54,50	49,76	61,34	55,20
Среднее	54,31	51,12	59,99	55,14
$НСР_{0,05}$	7,13	6,97	7,47	5,81
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

Таким образом, в пределах каждой суммарной дозы азота при разных сроках внесения аммиачной и (или) калийной селитры существенного влияния на содержание крахмала в зерне обоих сортов озимой ржи не выявлено. Как видно из следующих уравнений регрессии (Y, %) внесение аммиачной селитры в пределах изучаемых доз не оказывало достоверного влияния на содержание крахмала в зерне обоих сортов озимой ржи (13, 14):

$$Y\ (\text{Волхова}) = 59{,}485 - 27{,}623K_2 + 9{,}713K_2^2;\ R^2 = 0{,}408^* \quad (13)$$

$$Y\ (\text{Эврика}) = 57{,}146 - 30{,}002K_2 + 8{,}212K_2^2;\ R^2 = 0{,}501^* \quad (14)$$

С возрастанием же доз калийной селитры при весеннем ее применении содержание крахмала в зерне снижалось, однако каждая последующая ее доза в меньшей мере снижала крахмалистость зерна, чем предыдущая, и при достижении точек экстремума (1,42 и 1,70 в код. ед. или 57 и 68 кг/га д.в. у сорта Волхова и Эврика соответственно) содержание крахмала в зерне обоих сортов начинало возрастать.

5.4 Влияние аммиачной и калийной селитры на содержание сырого жира в зерне

Рассмотрим изменение еще одного показателя биохимического состава зерна злаковых культур – сырого жира. В условиях избыточного и нормального увлажнения в 2019 и в 2020 гг. содержание жира в зерне обоих сортов озимой ржи было практически одинаковым во всех вариантах и не зависело от уровня минерального питания, вида и срока внесения удобрений (таблицы 5.4.1 и 5.4.2).

В следующем году (2021 г.) у сорта Волхова содержание жира в зерне в среднем по вариантам между суммарными дозами азота было практически одинаковым (1,88 %, 1,89 % и 1,87 % при N_{30}, N_{60} и N_{90} соответственно). Однако внутри каждой суммарной дозы азота варианты достоверно различались по содержанию жира: более высокое содержание жира в зерне отмечено в вариантах с внесением одной аммиачной селитры по сравнению с вариантами с использованием аммиачной и калийной селитры (таблица 5.4.1). У сорта Эврика в 2021 г. различия между всеми вариантами статистически не достоверны (таблица

5.4.2). Следует отметить, что у обоих сортов озимой ржи максимальное содержание сырого жира в зерне отмечено в условиях избыточного и нормального увлажнения в весенне-летний период вегетации. Так, в 2019 и в 2020 гг. у сорта Волхова среднее содержание жира в зерне составило 2,01 % и 2,05 % соответственно, у сорта Эврика – 1,99 % и 2,03 % соответственно. Минимальное содержание жира отмечено в третий год проведения полевого опыта (2021 г.) с засушливыми условиями в репродуктивный период (1,90 % в среднем по вариантам у сорта Волхова и 1,83 % у сорта Эврика).

Таблица 5.4.1 – Содержание сырого жира в зерне у сорта Волхова при разных вариантах применения удобрений

Вариант	Сырой жир, % а. с. в.			
	2019	2020	2021	Среднее за три года
Контроль (без удобрений)	2,03	1,95	1,88	1,95
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,96	2,06	1,91	1,98
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,98	2,13	1,90	2,00
$N_{30}K_0$(в)	2,03	2,09	2,16	2,09
$N_{30}K_{40}$(в)	2,04	2,01	1,86	1,97
Среднее	2,00	2,07	1,96	2,01
$НСР_{0,05}$	0,27	0,27	0,19	0,20
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	2,00	2,05	2,06	2,04
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1,98	2,07	1,83	1,96
$N_{60}K_0$(в)	2,03	2,09	1,88	2,00
$N_{60}K_{80}$(в)	2,04	1,98	1,80	1,94
Среднее	2,01	2,05	1,89	1,99
$НСР_{0,05}$	0,27	0,24	0,23	0,20
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	2,04	2,10	2,06	2,07
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	2,00	2,03	1,78	1,94
$N_{90}K_0$(в)	2,06	2,01	1,86	1,98
$N_{90}K_{120}$(в)	2,03	1,97	1,76	1,92
Среднее	2,03	2,03	1,87	1,98
$НСР_{0,05}$	0,26	0,17	0,26	0,19
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

Таким образом исследования показали, что содержание сырого жира в зерне обоих сортов озимой ржи является достаточно стабильной величиной, не

зависящей от уровня азотно-калийного питания (Y, % (Волхова) = 2,02 – const, R^2 = 0,000; Y, % (Эврика) = 1,95 – const, R^2 = 0,000) и практически слабо изменяющейся в зависимости от гидротермических условий весенне-летнего периода вегетации. Стоит лишь отметить минимальное содержание жира в зерне обоих сортов озимой ржи в 2021 г., отличавшимся засушливыми условиями в репродуктивный период.

Таблица 5.4.2 – Содержание сырого жира в зерне у сорта Эврика при разных вариантах применения удобрений

Вариант	Сырой жир, % а. с. в.			
	2019	2020	2021	Среднее за три года
Контроль (без удобрений)	1,96	1,98	1,81	1,92
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,97	2,11	1,85	1,98
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,96	1,97	1,80	1,91
$N_{30}K_0$(в)	1,97	1,99	1,85	1,94
$N_{30}K_{40}$(в)	2,03	2,04	1,86	1,98
Среднее	1,98	2,03	1,84	1,95
$НСР_{0,05}$	0,11	0,23	0,20	0,17
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	2,00	2,01	1,89	1,97
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1,98	1,93	1,87	1,93
$N_{60}K_0$(в)	2,01	2,00	1,84	1,95
$N_{60}K_{80}$(в)	1,96	2,01	1,84	1,94
Среднее	1,99	1,99	1,86	1,95
$НСР_{0,05}$	0,22	0,20	0,17	0,16
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	2,03	2,04	1,88	1,98
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	1,97	2,10	1,73	1,93
$N_{90}K_0$(в)	2,02	2,04	1,68	1,91
$N_{90}K_{120}$(в)	1,98	2,12	1,81	1,97
Среднее	2,00	2,08	1,78	1,95
$НСР_{0,05}$	0,22	0,23	0,25	0,19
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

Выводы по главе

Натура зерна обоих сортов озимой ржи существенно определялась только весенним применением азотных и калийных удобрений. Использование высоких

доз азота весной в один прием (N_{90}) приводило к снижению натуры зерна, при этом весеннее внесение калия в некоторой степени нивелировало этот эффект. Величина показателя «число падения» в основном определялось условиями увлажнения в репродуктивный период текущего года и практически не зависело от доз и сроков применения как азотных, так и калийных удобрений.

В среднем за годы опыта содержание сырого белка в зерне озимой ржи варьировало по вариантам в пределах 10,8–11,4 % у сорта Волхова и 10,7–11,1 % у сорта Эврика. При этом содержание белка в зерне в среднем по годам у обоих сортов озимой ржи варьировало в большей степени, чем по вариантам в пределах одного года – 9,7 % (2020 г.), 11,2 % (2019 г.) и 12,1 % (2021 г.).

Валовой сбор белка у изученных сортов озимой ржи в основном определялся уровнем урожайности и в меньшей степени содержанием белка в зерне, то есть минимальный и максимальный валовой сбор белка соответствовал вариантам с минимальной и максимальной урожайностью. При этом у сорта Эврика максимальный валовой сбор белка отмечен при суммарной дозе азота N_{90}, у сорта Волхова – при N_{60}, а именно – в варианте с единовременным весенним внесением калийной и аммиачной селитры.

В пределах каждой суммарной дозы азота различные варианты с внесением аммиачной и калийной селитры не оказывали существенного влияния на содержание крахмала в зерне обоих сортов озимой ржи. При этом содержание крахмала в зерне существенно изменялось с возрастанием доз калия при весеннем его применении: с увеличением дозы калия содержание крахмала в зерне сначала снижалось, а после достижения минимальных величин (точек экстремума 57 и 68 кг/га д.в. у сорта Волхова и Эврика соответственно) содержание крахмала в зерне обоих сортов начинало возрастать.

Содержание сырого жира в зерне изученных сортов озимой ржи является достаточно стабильной величиной, не зависящей от уровня азотно-калийного питания и практически слабо изменяющейся в зависимости от гидротермических условий, складывающихся в весенне-летний период вегетации.

ГЛАВА 6. ПОТРЕБЛЕНИЕ РАСТЕНИЯМИ ОЗИМОЙ РЖИ ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ ПРИМЕНЕНИЯ АММИАЧНОЙ И КАЛИЙНОЙ СЕЛИТРЫ

6.1 Изменение содержания азота и калия в зеленой массе и в зерне

Определение содержания общего азота и калия в зеленой массе озимой ржи, убранной в конце фазы трубкования, показало, что в 2019 году в условиях прохладного и дождливого лета их содержание у обоих сортов варьировало в пределах 1,61–2,04 % и 2,60–3,38 % (приложение В, таблица П. 4). При этом каких-либо достоверных различий во всех вариантах полевого опыта в пределах одной суммарной дозы азота не обнаружено. В 2020 году, как и в предыдущем, существенных различий по содержанию общего азота и калия в зелёной биомассе между вариантами в пределах одной суммарной дозы азота не наблюдалось у обоих изученных сортов (приложение В, таблица П. 5). В третий год исследований у обоих сортов озимой ржи также не обнаружено существенных различий по содержанию общего азота и калия в зелёной массе между вариантами в пределах одной суммарной дозы азот (приложение В, таблица П. 6).

Анализ данных по варьированию содержания общего азота и калия в зелёной биомассе изученных сортов озимой ржи по годам и в среднем за годы проведения полевого опыта показал, что различия по их содержанию между низкой суммарной дозой азота (N_{30}) и контролем составляли 0,02–0,08 %, калия – 0,16–0,26 %; между N_{30} и N_{60} – 0,12–0,18 % и 0,14–0,22 %, а между N_{60} и N_{90} – 0,23–0,24 % и 0,03–0,05% соответственно.

Трехлетние исследования показали, что достоверных различий по содержанию азота и калия в зелёной массе обоих сортов озимой ржи, убранной в конце фазы трубкования – появления флагового листа, между вариантами с различным сроком внесения аммиачной и калийной селитры в пределах одной суммарной дозы азота не отмечено (таблица 6.1.1). Однако с возрастанием уровня

азотного питания наблюдалась устойчивая тенденция к повышению содержания общего азота в зелёной массе. При этом содержание калия в зелёной массе обоих сортов варьировало в меньшей степени, чем содержание общего азота.

Таблица 6.1.1 – Содержание азота и калия в зёленой массе озимой ржи при разных вариантах применения удобрений, среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Содержание азота и калия в зелёной массе, % а. с. в.			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
контроль	1,60	2,62	1,60	2,54
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,61	2,60	1,65	2,61
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,63	2,96	1,67	2,91
$N_{30}K_0$(в)	1,60	2,64	1,70	2,70
$N_{30}K_{40}$(в)	1,63	2,92	1,71	2,96
Среднее	1,62	2,78	1,68	2,80
$НСР_{0,05}$	0,11	0,18	0,12	0,19
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1,81	2,67	1,79	2,63
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1,72	3,46	1,83	3,25
$N_{60}K_0$(в)	1,83	2,64	1,75	2,61
$N_{60}K_{80}$(в)	1,82	3,24	1,83	3,28
Среднее	1,80	3,00	1,80	2,94
$НСР_{0,05}$	0,12	0,23	0,13	0,19
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	2,01	2,59	2,02	2,57
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	1,96	3,37	2,07	3,36
$N_{90}K_0$(в)	2,04	2,50	2,02	2,58
$N_{90}K_{120}$(в)	2,09	3,42	2,06	3,43
Среднее	2,03	2,97	2,04	2,99
$НСР_{0,05}$	0,14	0,21	0,14	0,20
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

Проведение множественного регрессионного анализа позволило получить уравнения регрессии, отражающие зависимость содержания общего азота и калия в зелёной массе озимой ржи от доз и сроков применения аммиачной и калийной селитры (таблица 6.1.2). Как видно из уравнений, содержание общего азота в зелёной массе увеличивается под действием осеннего и весеннего внесения азотного удобрения и уменьшается под влиянием осеннего (у сорта Волхова) или весеннего (у сорта Эврика) внесения калийного удобрения. Содержание калия в

зелёной массе сорта Волхова увеличивается с возрастанием дозы калийной селитры как при осеннем, так и весеннем ее внесении, но уменьшается при осеннем внесении азота. Содержание калия в зелёной массе сорта Эврика увеличивается с возрастанием дозы калийного удобрения как осенью, так и весной, а также под действием весеннего внесения азота в умеренных дозах, но уменьшается при внесении азота, вносимого осенью.

Таблица 6.1.2 – Зависимость содержания общего азота и калия в зелёной массе озимой ржи (Y, %) от доз и сроков применения азотного и калийного удобрения, среднее за три года

Показатель (Y)	Уравнение регрессии	R^2
Nобщ., Волхова	$Y = 1,585 + 0,219N_1^2 + 0,054N_2^2 - 0,022K_1$	0,978*
Nобщ., Эврика	$Y = 1,620 + 0,254N_1^2 + 0,042N_2^2 - 0,022K_2$	0,973*
К, Волхова	$Y = 2,608 + 0,568K_1 + 0,286K_2 - 0,301N_1 \times K_1$	0,953*
К, Эврика	$Y = 2,547 + 0,220K_1 + 0,255K_2 - 0,117N_1^2 + 0,184N_2 - 0,061N_2^2$	0,986*
П р и м е ч а н и е: Nобщ. – содержание общего азота в зеленой массе, % а. с. в.; К – содержание калия в зеленой массе, % а. с. в.; * – значимо на уровне 0,05		

Следующим логическим этапом является анализ изменений содержания общего азота и калия в зерне изученных сортов озимой ржи. Так как в соответствии с государственным стандартом (ГОСТ 10846 – 91. Метод определения белка. Зерно и продукты его переработки.) содержание сырого белка в зерне определяется произведением содержания общего азота на фиксированный коэффициент, то все тенденции в изменениях содержания общего азота будут аналогичны изменениям в содержании сырого белка (раздел 5.1). При этом содержание белка (общего азота) в зерне обоих сортов озимой ржи в большей степени варьировало по годам (от 9,6 до 12,7 % и от 1,68 до 2,23 % соответственно), чем по вариантам в пределах одного года.

В соответствии с изложенным выше, рассмотрим изменения в содержании только калия в зерне озимой ржи. Содержание калия в зерне мало изменялось по вариантам в пределах каждого года (приложение В, таблицы П. 7, П. 8 и П. 9) и в среднем за три года (таблица 6.1.3). Следует отметить более высокое накопление калия в зерне сортов озимой ржи во всех вариантах полевого опыта в условиях резкого недостатка влаги в репродуктивный период 2021 г. по сравнению с двумя

предыдущими годами исследований. В первый год проведения полевого опыта содержание калия в зерне обоих сортов озимой ржи находилось в пределах 1,40–1,62 %, во второй – 1,36–1,58 % и в третий – 1,45–1,79 %.

Таблица 6.1.3 – Содержание азота и калия в зерне озимой ржи, среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Содержание азота и калия в зерне, % а. с. в.			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
контроль	1,78	1,45	1,76	1,41
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,79	1,51	1,78	1,57
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,77	1,62	1,77	1,60
$N_{30}K_0$(в)	1,73	1,56	1,78	1,59
$N_{30}K_{40}$(в)	1,76	1,58	1,74	1,56
Среднее	1,76	1,57	1,77	1,58
$НСР_{0,05}$	0,12	0,12	0,11	0,10
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+ $N_{40}K_0$(в)	1,79	1,57	1,74	1,60
$N_{20}K_{80}$(ос)+ $N_{40}K_0$(в)	1,81	1,58	1,72	1,57
$N_{60}K_0$(в)	1,80	1,58	1,71	1,56
$N_{60}K_{80}$(в)	1,81	1,62	1,76	1,58
Среднее	1,80	1,59	1,73	1,58
$НСР_{0,05}$	0,10	0,11	0,10	0,11
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	1,79	1,52	1,71	1,60
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	1,80	1,54	1,78	1,59
$N_{90}K_0$(в)	1,82	1,57	1,76	1,57
$N_{90}K_{120}$(в)	1,83	1,57	1,75	1,60
Среднее	1,81	1,55	1,75	1,59
$НСР_{0,05}$	0,11	0,11	0,10	0,12
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

Уравнения регрессии, отражающие зависимость содержания общего азота и калия в зерне озимой ржи от доз и сроков применения азотных и калийных удобрений в среднем за годы исследований, представлены в таблице 6.1.4. Содержание общего азота (и, соответственно, сырого белка) в зерне обоих сортов озимой ржи определяется дозами аммиачной селитры как при осеннем, так и весеннем ее внесении. С возрастанием доз аммиачной селитры при осеннем

внесении содержание общего азота в зерне обоих сортов озимой ржи повышалось, однако каждая последующая доза при осеннем ее применении приводила к меньшему увеличению содержания общего азота в зерне по сравнению с предыдущей (+ N_1 - N_1^2). С возрастанием доз аммиачной селитры при весеннем внесении, содержание общего азота в зерне обоих сортов озимой ржи повышалось. При этом у сорта Волхова каждая последующая ее доза, внесенная весной, в большей степени повышала содержание общего азота в зерне, а у сорта Эврика – приводила к меньшему увеличению содержания общего азота в зерне по сравнению с предыдущей. Следует отметить снижение содержания общего азота в зерне у сорта Волхова при осеннем внесении калийной селитры.

Содержание калия в зерне обоих сортов увеличивалось с повышением доз калия, вносимого осенью и не зависело от калийного удобрения, вносимого весной. Осеннее внесение азота уменьшало содержание калия в зерне сорта Волхова, а весеннее – увеличивало его. У сорта Эврика содержание калия в зерне увеличивалось с повышением уровня азотного питания как при осеннем, так и при весеннем внесении азотных удобрений.

Таблица 6.1.4 – Зависимость содержания общего азота и калия в зерне озимой ржи (Y, %) от доз и сроков применения азотных и калийных удобрений, среднее за три года

Показатель (Y)	Уравнение регрессии	R^2
Nобщ., Волхова	$Y = 1{,}758 + 0{,}098N_1 - 0{,}091N_1^2 + 0{,}008N_2^2 - 0{,}022K_1$	0,541*
Nобщ., Эврика	$Y = 1{,}442 + 0{,}183N_1 - 0{,}191N_1^2 + 0{,}140N_2 - 0{,}032N_2^2$	0,598*
К, Волхова	$Y = 1{,}456 + 0{,}088K_1 - 0{,}078N_1^2 - 0{,}087N_1 \times K_1 + 0{,}146N_2 - 0{,}036N_2^2$	0,735*
К, Эврика	$Y = 1{,}432 + 2{,}623K_1 - 7{,}868N_1 \times K_1 + 0{,}216N_1 - 0{,}220N_1^2 + 0{,}151N_2 - 0{,}034N_2^2$	0,598*
П р и м е ч а н и е: Nобщ. – содержание общего азота в зерне, % а. с. в.; К – содержание калия в зерне, % а. с. в.; * – значимо на уровне 0,05		

Определение точек экстремума (максимума) в разработанных уравнениях показало, что точка экстремума у сорта Волхова по содержанию общего азота в зерне при осеннем внесении аммиачной селитры составляет 0,54 код. ед. или (0,54 × 30) = 16,2 кг/га д.в. У сорта Эврика точка экстремиума по содержанию общего азота в зерне при осеннем внесении аммиачной селитры составляет 0,48 код. ед.

или (0,48 × 30) = 14,4 кг/га д.в., а при весеннем – 2,19 или (2,19 × 30) = 65,7 кг/га д.в. Как видим, оптимальные дозы аммиачной селитры при осеннем ее внесении для максимального накопления в зерне общего азота (и сырого белка соответственно) у обоих сортов озимой ржи практически одинаковы.

Определить точки экстремума (максимума) в уравнениях, отражающих зависимость содержания калия в зерне озимой ржи от доз и сроков применения азотных и калийных удобрений у обоих сортов озимой ржи при наличии достоверного взаимодействия факторов ($N_1 \times K_1$) не представляется возможным.

6.2 Хозяйственный вынос азота и калия основной продукцией при возделывании озимой ржи на зелёную массу и зерно

Считается, что хозяйственный вынос элемента минерального питания растениями определяется относительным его содержанием в зерне и (или) надземной массе и уровнем урожайности. В первый год (2019 г.) при хорошей обеспеченности растений в период отрастания влагой и теплом наиболее высокий хозяйственный вынос азота надземной массой обоих сортов озимой ржи, убранной в конце фазы трубкования – появления флагового листа, отмечен во всех вариантах с максимальным ее урожаем при суммарной дозе азота N_{90} (приложение Г, таблица П. 10). Вынос калия надземной биомассой был максимальным при N_{90} во всех вариантах с применением калийной селитры.

В 2020 году при низкой тепло- и влагообеспеченности растений в фазу весеннего отрастания, максимальный вынос азота и калия у обоих сортов наблюдался при максимальном урожае зелёной массы в варианте с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры при суммарной дозе азота N_{90}, тогда как в других вариантах при этой же суммарной дозе азота урожайность и, соответственно, вынос рассматриваемых элементов минерального питания были существенно ниже (приложение Г, таблица П. 11).

В 2021 году в практически не отличающихся от 2019 года гидротермических условиях в период весеннего отрастания, наиболее высокий хозяйственный вынос

азота надземной массой обоих сортов озимой ржи также отмечен в варианте с максимальным ее урожаем при суммарной дозе азота N_{90} (приложение Г, таблица П. 12). При этом вынос калия надземной массой был максимальным во всех вариантах с применением калийной селитры. Однако необходимо отметить, что в третий год опыта урожайность надземной биомассы у обоих сортов озимой ржи была более высокой по сравнению с первым годом по причине лучшей перезимовки растений, чем в период зимовки 2019 г.

Таблица 6.2.1 – Вынос элементов питания озимой рожью при возделывании на зеленую массу, среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Хозяйственный вынос с урожаем зеленой массы, кг/га			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
контроль	39,2	64,1	39,6	62,8
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	53,4	78,6	52,2	85,2
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	54,5	91,5	50,7	90,0
$N_{30}K_0$(в)	58,1	85,7	59,9	84,2
$N_{30}K_{40}$(в)	58,7	94,4	60,6	96,1
Среднее	56,2	87,5	55,85	88,9
$НСР_{0,05}$	5,7	8,5	5,1	7,4
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	68,9	82,2	69,6	76,7
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	68,9	116,2	75,1	107,9
$N_{60}K_0$(в)	71,3	88,2	75,4	77,0
$N_{60}K_{80}$(в)	79,8	126,0	84,7	126,6
Среднее	72,2	103,2	76,2	97,1
$НСР_{0,05}$	6,8	10,7	7,7	12,5
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	108,6	125,5	105,8	113,5
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	108,6	164,6	106,4	154,2
$N_{90}K_0$(в)	108,5	121,7	107,2	120,7
$N_{90}K_{120}$(в)	117,2	175,2	121,3	173,0
Среднее	110,7	146,8	110,2	140,4
$НСР_{0,05}$	8,5	10,3	10,3	15,6
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

Таким образом, исследования показали, что хозяйственный вынос азота и калия зелёной биомассой обоих сортов озимой ржи в основном определялся уровнем урожайности и, в меньшей степени, относительным их содержанием в

надземной массе. В среднем за годы полевого опыта, оба изученные сорта озимой ржи показали максимальную урожайность и, соответственно, максимальный вынос азота и калия при суммарной дозе азота N_{90} в варианте с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры (таблица 6.2.1).

Наиболее ценным компонентом и основной продукцией озимой ржи служит зерно, а ее солома является побочной. Считается, что солому озимой ржи в большинстве случаев целесообразно оставлять на поле, запахивая под зябь и используя ее под следующую культуру севооборота. Известно, что питательная ценность для животных ржаной соломы очень низкая, вследствие морфо-физиологических особенностей озимой ржи большая часть наиболее питательных частей растительного организма – листьев – к моменту созревания зерна и во время уборки урожая уходит в опад. Остающаяся соломина, как отмирающий орган растений, зачастую, особенно при использовании органической системы земледелия, сильно заражена различными фунгитоксинами, опасными для млекопитающих и птиц (Пирязева и др., 2016). В то же время многочисленными исследованиями показана высокая эффективность использования соломы различных сельскохозяйственных культур, в том числе и озимой ржи, при её запашке в почву в качестве органического удобрения (Мамиев, 2020; Таланов и Ахметзянов, 2020; Анисимов и Агеев, 2021; Гамзиков и Сулейменов, 2021; Маслов и др., 2021; Скороходов, 2021; Дзюин, 2022; Пинаева и Акманаева, 2022). Учитывая изложенное выше, при проведении полевого опыта во все годы в период уборки и учета урожая зерно отчуждали с делянок и учитывали при расчетах хозяйственного выноса азота и калия как вынос основной продукцией, солому же сразу запахивали в почву.

Выше было отмечено, что содержание азота и калия в зерне изученных сортов озимой ржи имело незначительные интервалы варьирования в зависимости от гидротермических условий, складывавшихся в период вегетации, а также от уровня минерального питания в пределах применяемых доз аммиачной и калийной селитры. По этой причине хозяйственный вынос азота и калия с основной продукцией (зерно) во все годы определялся, главным образом, уровнем

урожайности.

В 2019 и 2020 годах у сорта Волхова максимальная урожайность и, следовательно, максимальный хозяйственный вынос азота и калия зерном зафиксирован при внесении $N_{60}К_{80}$ в варианте с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры, у сорта Эврика – при внесении более высокой дозы $N_{90}К_{120}$, но также в варианте с единовременным весенним внесением удобрений (приложение Г, таблицы П. 13 и П. 14). Последнее согласуется с мнением ряда исследователей, которые отмечали максимальный эффект от использования калийных удобрений в формировании урожая зерна при использовании высоких доз (90–150 кг/га д.в.) калийных удобрений (Коренев и Воробьева, 2016; Лапа и др., 2016). Отсутствие положительного эффекта от внесения калия при высоких дозах удобрений ($N_{90}К_{120}$) у сорта Волхова, вероятно, объясняется тем, что при высокой дозе азота сорт Волхова формировал большое количество малопродуктивного подгона.

В 2021 году максимальный хозяйственный вынос азота и калия у обоих сортов озимой ржи отмечен при N_{30} и N_{60} в вариантах с дробным (то есть осенним и весенним) внесением аммиачной и калийной селитры (приложение Г, таблица П. 15).

При суммарной дозе азота N_{90} в 2021 г. во всех вариантах хозяйственный вынос азота и калия у обоих сортов был ниже, чем при N_{30} и N_{60}. Это связано с более низкой урожайностью при N_{90}, а также может быть обусловлено тем, что в условиях летней засухи, проявившейся в 2021 году, потребление элементов минерального питания растениями озимой ржи из более концентрированных почвенных растворов при внесении высоких доз минеральных удобрений было затруднено.

Несмотря на отличия в варьировании величины хозяйственного выноса в 2021 году, обусловленные недостатком влаги в период вегетации, в среднем за три года максимальный хозяйственный вынос азота и калия отмечен в вариантах с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры: у сорта Волхова – при суммарной дозе азота N_{60}, у сорта Эврика – N_{90} (таблица 6.2.2).

Таблица 6.2.2 – Вынос элементов питания с урожаем зерна при разных вариантах применения удобрений, среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Хозяйственный вынос с урожаем зерна, кг/га			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
контроль	29,1	24,2	31,9	26,2
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	42,0	35,3	39,3	36,6
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	36,8	33,6	38,6	35,6
$N_{30}K_0$(в)	35,1	32,0	38,1	35,5
$N_{30}K_{40}$(в)	38,6	35,8	36,4	33,6
Среднее	38,1	34,2	38,1	35,3
$НСР_{0,05}$	1,6	1,7	1,3	1,7
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	48,8	43,0	45,3	42,9
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	46,9	41,3	45,4	42,1
$N_{60}K_0$(в)	44,1	39,1	43,9	40,5
$N_{60}K_{80}$(в)	55,0	49,8	43,1	40,4
Среднее	48,7	43,3	44,4	41,5
$НСР_{0,05}$	1,7	1,7	1,2	1,7
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	37,7	32,6	46,1	44,6
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	37,9	32,9	49,4	44,7
$N_{90}K_0$(в)	40,0	35,3	45,1	40,9
$N_{90}K_{120}$(в)	41,1	37,0	52,6	48,2
Среднее	39,2	34,5	48,3	44,6
$НСР_{0,05}$	1,8	1,4	1,3	1,6
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

6.3 Использование растениями азота и калия из удобрений на формирование урожая зелёной массы и зерна

Известно, что разностный коэффициент использования удобрений представляет собой процентное отношение разницы хозяйственного выноса элемента минерального питания между удобренным и контрольным вариантом к дозе удобрения в удобренном варианте (Ягодин и др., 2002). С использованием разностного метода были рассчитаны коэффициенты использования азота и калия из удобрений при разных дозах и сроках внесения аммиачной и калийной селитры.

В 2019 году на формирование зеленой массы сорт Волхова максимально эффективно использовал элементы минерального питания при самых высоких суммарных дозах аммиачной и калийной селитры, при этом эффективность потребления азота из разных видов селитры была практически одинаковой. У сорта Эврика, как и у сорта Волхова, были обнаружены аналогичные изменения в использовании азота и калия удобрений. Некоторым исключением является необычно высокая величина коэффициента использования калия при совместном весеннем внесении калийной и аммиачной селитры в варианте $N_{30}K_{40}$ (приложение Д, таблица П. 16).

В 2020 году при всех суммарных дозах азота хорошо заметна разница в эффективности использования растениями обоих сортов озимой ржи азота и калия из удобрений между вариантами с их дробным (осенним и весенним) и единовременным весенним внесением в пользу весеннего (приложение Д, таблица П. 17). Вероятно, отмеченное явление обусловлено значительным количеством осадков в виде дождя в осенне-зимний период (рисунок 2.1.2).

В 2021 году, в практически сходных с 2019 годом гидротермических условиях, сложившихся в период формирования зеленой биомассы (начало весенней вегетации – окончание фазы трубкования), закономерности в изменении коэффициента использования азота из обоих видов минеральных удобрений сортом Волхова были практически такими же. Однако коэффициенты использования азота при N_{30} и N_{60} были выше, чем в первый год проведения опыта (2019 г.), вероятно, за счет формирования большей урожайности надземной биомассы (приложение Д, таблица П. 18). При этом следует отметить одинаково высокую во всех вариантах полевого опыта эффективность использования калия из калийной селитры. Сорт Эврика практически одинаково эффективно использовал на формирование зеленой массы азот и калий из минеральных удобрений во всех вариантах, за исключением вариантов при низкой суммарной дозе азота, где коэффициент использования азота был несколько ниже – возможно, что лимитирующим фактором при данном уровне азотного питания стал недостаток легкодоступного калия.

В среднем за три года исследований при всех уровнях азотного питания наиболее эффективное использование азота и калия из минеральных удобрений на формирование зелёной массы у обоих сортов озимой ржи отмечено при единовременном внесении аммиачной и калийной селитры весной (таблица 6.3.1). При этом необходимо отметить, что при весеннем внесении калийной селитры совместно с аммиачной наблюдалась устойчивая тенденция к увеличению коэффициента использования растениями озимой ржи азота из удобрений.

Таблица 6.3.1 – Коэффициенты использования азота и калия из удобрений сортами озимой ржи на формирование зелёной массы, среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Коэффициент использования, %			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	50,0	-	40,0	-
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	50,0	68,5	40,0	68,0
$N_{30}K_0$(в)	60,0	-	70,0	-
$N_{30}K_{40}$(в)	70,0	75,8	70,0	83,3
Среднее	57,5	72,2	55,0	75,7
$НСР_{0,05}$	6,7	7,0	6,4	7,1
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	49,5	-	50,0	-
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	49,5	65,1	57,2	56,4
$N_{60}K_0$(в)	53,5	-	59,7	-
$N_{60}K_{80}$(в)	67,7	77,4	75,2	79,8
Среднее	55,1	71,3	60,5	68,1
$НСР_{0,05}$	5,4	7,0	5,9	7,1
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	75,1	-	73,6	-
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	75,1	83,8	74,2	76,2
$N_{90}K_0$(в)	79,0	-	75,1	-
$N_{90}K_{120}$(в)	86,7	92,6	90,8	91,8
Среднее	79,0	88,2	78,4	84,0
$НСР_{0,05}$	7,8	8,0	7,9	8,2
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

При возделывании на зерно в условиях избыточного увлажнения в репродуктивный период 2019 года внесение высоких доз азотных и калийных удобрений под сорт Волхова было неэффективно (приложение Д, таблица П. 19).

Максимальные коэффициенты использования азота и калия у сорта Волхова в 2019 г. на формирование зерна отмечены в варианте единовременного весеннего внесения аммиачной и калийной селитры в дозе $N_{60}K_{80}$, минимальные коэффициенты использования азота – во всех вариантах с единовременным весенним внесением одной аммиачной селитры.

Максимальные коэффициенты использования азота и калия в 2019 г. у сорта Эврика, как и у сорта Волхова, отмечены в варианте единовременного весеннего внесения аммиачной и калийной селитры в дозе $N_{60}K_{80}$. При этом, в отличие от сорта Волхова, коэффициент использования калия в варианте $N_{30}K_{40}$ был практически одинаковым как при дробном, так и при единовременном весеннем внесении аммиачной и калийной селитры.

В 2020 году при благоприятных гидротермических условиях в репродуктивный период растения обоих сортов озимой ржи использовали азот и калий из удобрений на формирование зерна более эффективно, чем в предшествующий год (приложение Д, таблица П. 20). При этом максимальные коэффициенты использования азота и калия на формирование зерна сортом Волхова были отмечены в вариантах с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры в дозах $N_{30}K_{40}$ (74,7 % и 56,0 % соответственно) и $N_{60}K_{80}$ (53,7 % и 38,3 % соответственно).

У сорта Эврика в 2020 году максимальный коэффициент использования азота удобрений на формирование зерна отмечен, как и у сорта Волхова, в варианте с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры, но при более высокой суммарной дозе азота N_{90}. При этом коэффициент использования калия из удобрений при всех суммарных дозах азота был выше в вариантах с весенним внесением калийной селитры, чем в вариантах с осенним применением калийной селитры.

В 2021 году в условиях недостатка влаги в репродуктивный период наиболее эффективное использование элементов минерального питания из удобрений на формирование зерна у сорта Волхова отмечено при N_{30} и N_{60} в вариантах с дробным внесением одной аммиачной селитры: 80,6 % и 40,2 % (приложение Д, таблица П.

21). Необходимо отметить, что при высокой суммарной дозе азота (N_{90}) единовременное весеннее внесение аммиачной и калийной селитры в отличие от дробного их применения (осенью и весной) повышало коэффициент использования азота удобрений.

Сорт Эврика также, как и сорт Волхова, лучше использовал оба элемента минерального питания из удобрений на формирование урожая зерна в вариантах с дробным внесением аммиачной и калийной селитры. При этом коэффициент использования азота удобрений был выше в вариантах с совместным внесением аммиачной и калийной селитры, чем в вариантах с применением одной аммиачной селитры.

Таблица 6.3.2 – Коэффициенты использования азота и калия из удобрений на формирование урожая зерна, среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Коэффициент использования, %			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	43,0	-	23,0	-
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	25,7	23,5	22,3	21,5
$N_{30}K_0$(в)	20,0	-	21,7	-
$N_{30}K_{40}$(в)	31,7	29,0	18,0	18,5
Среднее	30,1	26,3	21,3	20,0
$НСР_{0,05}$	3,2	3,0	2,5	2,0
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	32,8	-	22,3	-
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	29,7	21,4	22,4	19,9
$N_{60}K_0$(в)	25,0	-	21,0	-
$N_{60}K_{80}$(в)	43,2	32,0	18,7	17,8
Среднее	32,7	26,7	21,1	18,9
$НСР_{0,05}$	3,0	3,1	2,4	2,0
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	9,6	-	15,8	-
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	9,8	7,3	19,4	15,4
$N_{90}K_0$(в)	12,1	-	14,7	-
$N_{90}K_{120}$(в)	13,3	10,7	23,0	18,3
Среднее	11,2	9,0	18,2	16,9
$НСР_{0,05}$	1,0	1,0	1,3	1,5
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

В среднем за годы исследований у сорта Волхова максимальный коэффициент использования азота удобрений на формирование зерна отмечен при низкой (N_{30}) и средней (N_{60}) суммарной дозе азота в вариантах с весенним совместным внесением калийной и аммиачной селитры (таблица 6.3.2). Калий из удобрений при всех суммарных дозах азота максимально эффективно использовался сортом Волхова при весеннем внесении удобрений. У сорта Эврика коэффициенты использования азота и калия из удобрений на формирование зерна были близкими по значениям во всех вариантах опыта. Следует отметить тенденцию к снижению коэффициента использования азота из удобрений при N_{90} в вариантах с дробным и единовременным внесением только одной аммиачной селитры по сравнению с вариантами дробного и единовременного внесения аммиачной и калийной селитры.

6.4 Баланс азота и калия при различных дозах и сроках применения аммиачной и калийной селитры

В 2019 году при малой густоте стояния растений после неблагоприятной перезимовки баланс азота при возделывании озимой ржи сорта Волхова на зелёную массу складывался слабо отрицательным при суммарной дозе азота N_{30} и N_{90}, а при N_{60} оказался положительным (приложение Е, таблица П. 22). Растения сорта Эврика лучше, чем растения сорта Волхова, восстанавливались после неблагоприятной перезимовки, и поэтому показатели возмещения выноса азота при возделывании сорта Эврика на зеленую массу были ниже, чем у сорта Волхова. Баланс калия при возделывании обоих сортов озимой ржи в текущем году в подавляющем числе вариантов опыта был отрицательным (приложение Е, таблица П. 23). Исключение составляют оба варианта с применением калийной селитры при N_{60} у сорта Волхова, где был сформирован слабый положительный баланс по калию.

В 2020 году, в условиях недостаточной тепло- и влагообеспеченности в период весеннего отрастания проявилось существенные различия между сортами

озимой ржи по величине баланса азота и калия (приложение Е, таблица П. 24 и П. 25). При возделывании сорта Волхова был сформирован отрицательный баланс как азота, так и калия во всех вариантах с применением минеральных удобрений. При возделывании сорта Эврика формировался также отрицательный, но менее напряженный баланс азота и калия. При этом исключением являются варианты со слабым положительным балансом по азоту при суммарной дозе азота N_{90}.

В 2021 году при благоприятных условиях в период весеннего отрастания вегетативной массы баланс азота и калия складывался отрицательным при всех суммарных дозах азота и во всех вариантах с внесением минеральных удобрений. Даже в варианте с максимальными дозами азотных и калийных удобрений ($N_{90}K_{120}$) дефицит азота составлял 37–39 кг/га, а дефицит калия достигал 63–71 кг/га (приложение Е, таблица П. 26 и П. 27).

Таблица 6.4.1 – Баланс азота с учетом хозяйственного выноса с урожаем надземной биомассы, среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Волхова			Эврика		
	вынос, кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %	вынос, кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %
контроль	39,2	-39,2	-	39,6	-39,6	-
суммарная доза N_{30}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	53,4	-23,4	56	52,2	-22,2	57
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	54,5	-24,5	55	50,7	-20,7	59
$N_{30}K_0$(в)	58,1	-28,1	52	59,9	-29,9	50
$N_{30}K_{40}$(в)	58,7	-28,7	51	60,6	-30,6	50
суммарная доза N_{60}						
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	68,9	-8,9	87	69,6	-9,6	86
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	68,9	-8,9	87	75,1	-15,1	80
$N_{60}K_0$(в)	71,3	-11,3	84	75,4	-15,4	80
$N_{60}K_{80}$(в)	79,8	-19,8	75	84,7	-24,7	71
суммарная доза N_{90}						
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	108,6	-18,6	83	105,8	-15,8	85
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	108,6	-18,6	83	106,4	-16,4	85
$N_{90}K_0$(в)	108,5	-18,5	83	107,2	-17,2	84
$N_{90}K_{120}$(в)	117,2	-27,2	77	121,3	-31,3	74
Примечание: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений						

Таблица 6.4.2 – Баланс калия с учетом хозяйственного выноса с урожаем надземной биомассы, среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Волхова			Эврика		
	вынос, кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %	вынос, кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %
контроль	64,1	-64,1	-	62,8	-62,8	-
суммарная доза N_{30}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	78,6	-78,6	-	85,2	-85,2	-
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	91,59	-51,5	44	90,0	-50,0	44
$N_{30}K_0$(в)	85,7	-85,7	-	84,2	-84,2	-
$N_{30}K_{40}$(в)	94,4	-54,4	42	96,1	-56,1	42
суммарная доза N_{60}						
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	82,2	-82,2	-	76,7	-76,7	-
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	116,2	-36,2	69	107,9	-27,9	74
$N_{60}K_0$(в)	88,2	-88,2	-	77,0	-77,0	-
$N_{60}K_{80}$(в)	126,0	-46,0	63	126,6	-46,6	63
суммарная доза N_{90}						
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	125,5	-125,5	-	113,5	-113,5	-
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	164,6	-44,6	73	154,2	-34,2	78
$N_{90}K_0$(в)	121,7	-121,7	-	120,7	-120,7	-
$N_{90}K_{120}$(в)	175,2	-55,2	68	173,0	-53,0	69
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений						

В среднем за годы исследований при возделывании обоих сортов озимой ржи на зелёную массу баланс как по азоту, так и по калию складывался отрицательным во всех вариантах независимо от доз и сроков применения аммиачной и калийной селитры (таблицы 6.4.1 и 6.4.2). Минимальный дефицит азота наблюдался при возделывании сорта Волхова в варианте с дробным внесением аммиачной селитры при суммарной дозе азота N_{60} (N_{20} осенью + N_{40} весной) и в варианте с дробным внесением аммиачной и калийной селитры ($N_{20}K_{80}$ осенью + N_{40} весной). При возделывании сорта Эврика минимальный дефицит азота отмечен в варианте с дробным внесением аммиачной селитры при N_{60} (N_{20} осенью + N_{40} весной). Максимальный дефицит азота при возделывании на зеленую массу обоих сортов складывался при N_{30} в варианте с единовременным весенним внесением как одной аммиачной селитры, так и при совместном внесении аммиачной и калийной селитры, а также при N_{90} при единовременном весеннем внесении аммиачной и

калийной селитры. Необходимо отметить, что при средней и высокой суммарной дозе азота внесение калия во всех вариантах увеличивало дефицитный баланс азота за счет большего выноса этого элемента с более высоким урожаем надземной биомассы. Баланс калия был ожидаемо максимально дефицитным при возделывании обоих сортов озимой ржи в вариантах без внесения калийной селитры, а наименее дефицитным – при N_{60} с ее применением.

При расчёте баланса элементов минерального питания (азот и калий) при возделывании озимой ржи на зерно учитывался их хозяйственный вынос с урожаем зерна, то есть без учета побочной продукции (солома + полова), так как при проведении полевого опыта побочная продукция была запахана сразу же после уборки и учёта урожая зерна. В условиях переувлажнения в репродуктивный период в первый год опыта (2019 г.) при возделывании обоих сортов озимой ржи при суммарной дозе азота N_{30} складывался отрицательный баланс по азоту, а положительный – при более высоких суммарных дозах азота (N_{60} и N_{90}), причем вне зависимости от сроков внесения аммиачной и калийной селитры (приложение Е, таблица П. 28). Баланс калия у обоих сортов озимой ржи в вариантах с низкой дозой калийной селитры ($К_{40}$) был близок к нулю, в вариантах со средней и высокой дозой калийной селитры ($К_{80}$ и $К_{120}$) – положительный (приложение Е, таблица П. 29).

Во второй год опыта, более благоприятный, чем первый, по гидротермическому режиму, у сорта Волхова при низкой суммарной дозе азота баланс этого элемента минерального питания складывался отрицательным в варианте с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры и был близок к нулю в варианте с их дробным применением. При N_{60} и N_{90} баланс азота становился положительным во всех вариантах, за исключением варианта с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры, в котором урожай зерна у сорта Волхова был максимальным, а баланс азота оказался слабо отрицательным (приложение Е, таблица П. 30). Баланс калия у сорта Волхова складывался положительным во всех вариантах опыта, за исключением варианта с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры в дозе $N_{30}K_{40}$ (приложение Е, таблица П. 31).

В условиях засушливого лета 2021 года у обоих сортов озимой ржи баланс азота сложился отрицательным или близким к нулю только в вариантах с дробным внесением низких доз аммиачной и калийной селитры, а в остальных вариантах опыта он был положительным (приложение Е, таблица П. 32). Баланс по калию в текущем году был положительным во всех вариантах с внесением калийной селитры, а в вариантах без применения калийной селитры - отрицательным (приложение Е, таблица П. 33).

Таблица 6.4.3 – Баланс азота с учетом хозяйственного выноса основной продукцией (зерном), среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Волхова			Эврика		
	вынос, кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %	вынос, кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %
контроль	24,2	-24,2	-	26,2	-26,2	-
суммарная доза N_{30}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	42,0	-12,0	71	39,3	-9,3	76
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	36,8	-6,8	82	38,6	-8,6	78
$N_{30}K_0$(в)	35,1	-5,1	85	38,1	-8,1	79
$N_{30}K_{40}$(в)	38,6	-8,6	78	36,4	-6,4	82
суммарная доза N_{60}						
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	48,8	+11,2	123	45,3	+14,7	132
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	46,9	+13,1	128	45,4	+14,6	132
$N_{60}K_0$(в)	44,1	+15,9	136	43,9	+16,1	137
$N_{60}K_{80}$(в)	55,0	+5,0	109	43,1	+16,9	139
суммарная доза N_{90}						
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	37,7	+52,3	239	46,1	+43,9	195
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	37,9	+52,1	237	49,4	+40,6	182
$N_{90}K_0$(в)	40,0	+50,0	225	45,1	+44,9	200
$N_{90}K_{120}$(в)	41,1	+48,9	184	52,6	+37,4	171
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений						

В среднем за три года проведения полевого опыта при возделывании обоих сортов озимой ржи на зерно при низких дозах как аммиачной, так и калийной селитры складывался отрицательный баланс азота, при средних и высоких – положительный. Баланс калия при внесении калийной селитры во всех вариантах опыта у обоих сортов озимой ржи был положительным. При этом срок внесения аммиачной и калийной селитры не оказывал существенного влияния на баланс

обоих элементов минерального питания (таблицы 6.4.3 и 6.4.4). Следует отметить, что максимальную урожайность сорт Волхова сформировал в варианте $N_{60}K_{80}$ и баланс азота в этом случае был слабо положительным (+ 5 кг/га), а сорт Эврика – в варианте $N_{90}K_{120}$ и положительном балансе (+ 37,4 кг/га) азота.

Таблица 6.4.4 – Баланс калия с учетом хозяйственного выноса с основной продукцией (зерном), среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Волхова			Эврика		
	вынос, кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %	вынос, кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %
контроль	24,2	-24,2	-	26,2	-26,2	-
суммарная доза N_{30}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	35,3	-35,3	-	36,6	-36,6	-
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	33,6	+6,4	119	35,6	+4,4	112
$N_{30}K_0$(в)	32,0	-32,0	-	35,5	-35,5	-
$N_{30}K_{40}$(в)	35,8	+4,2	112	33,6	+6,4	119
суммарная доза N_{60}						
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	43,0	-43,0	-	42,9	-42,9	-
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	41,3	+38,7	194	42,1	+37,9	190
$N_{60}K_0$(в)	39,1	-39,1	-	40,5	-40,5	-
$N_{60}K_{80}$(в)	49,8	+30,2	161	40,4	+39,6	198
суммарная доза N_{90}						
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	32,6	-32,6	-	44,6	-44,6	-
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	32,9	+87,1	365	44,7	+75,3	268
$N_{90}K_0$(в)	35,3	-35,3	-	40,9	-40,9	-
$N_{90}K_{120}$(в)	37,0	+83,0	324	48,2	+71,8	249
Примечание: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений						

Выводы по главе

Содержание общего азота в зелёной массе возрастало под действием осеннего и весеннего внесения азотных удобрений и снижалось под влиянием осеннего (у сорта Волхова) или весеннего (у сорта Эврика) применения калия. Содержание калия в зелёной массе обоих сортов озимой ржи увеличивалось с возрастанием доз калийной селитры как при осеннем, так и весеннем ее внесении, но уменьшалось при осеннем внесении аммиачной селитры.

Содержание общего азота в зерне обоих сортов озимой ржи определялось в основном только дозами и сроками внесения азотных удобрений. С возрастанием доз азота как при осеннем, так и весеннем внесении содержание общего азота в зерне обоих сортов озимой ржи повышалось. Содержание калия в зерне обоих сортов во всех вариантах с применением удобрений варьировало в незначительных пределах и составляло 1,51–1,62 % а.с.в.

Хозяйственный вынос азота и калия зелёной массой и зерном обоих сортов озимой ржи в основном определялся уровнем урожайности и, в меньшей степени, относительным их содержанием в надземной массе и в зерне.

Максимальный коэффициент использования азота и калия из удобрений на формирование зелёной массы у обоих сортов озимой ржи отмечен в вариантах с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры в дозах $N_{30}К_{40}$, $N_{60}К_{80}$ и $N_{90}К_{120}$. Наиболее эффективное использование азота и калия из минеральных удобрений на формирование зерна у сорта Волхова отмечено в вариантах с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры в дозах $N_{60}К_{80}$, а у сорта Эврика – $N_{90}К_{120}$.

При возделывании на зелёную массу баланс как по азоту, так и по калию складывался отрицательным при любом варианте внесения удобрений для обоих сортов озимой ржи. При возделывании на зерно при низких дозах удобрений складывался отрицательный баланс азота, при средних и высоких – положительный, баланс калия при любой дозе калийной селитры во всех вариантах был положительным.

ГЛАВА 7. ОКУПАЕМОСТЬ УДОБРЕНИЙ И ИХ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОЙ РЖИ НА ЗЕЛЕНУЮ МАССУ И ЗЕРНО

В главе 2 было отмечено, что с целью выявления влияния на растения различных сортов озимой ржи именно такого элемента минерального питания, как калий, в качестве его источника использовали калийную селитру, отличную от аммиачной селитры лишь катионом, с тем, чтобы избежать значимого поступления других макроэлементов, кроме азота и калия, входящих в состав других калийных удобрений. Известно, что хлористый калий содержит значительное количество хлора, негативное влияние которого нельзя исключить при внесении под озимые культуры, что могло исказить результаты исследования. Также известно, что сульфат калия и калимагнезия содержат значительное количество серы и магния, которые могут оказывать существенное влияние на растения как сами по себе, так и в комплексе с калием.

Ввиду того, что цены на минеральные удобрения и продукцию растениеводства подвержены значительным ежегодным колебаниям, при расчете эффективности использовали показатель окупаемости единицы действующего вещества единицей прибавки урожая. Считается, что чем лучше растениями используется элемент минерального питания из удобрения и чем активнее усваивается поглощенное количество, тем выше агрохимическая эффективность или окупаемость внесенного удобрения прибавкой урожая основной продукции (Соколов и Семенов, 1994; Артюшина, 1996). Известно, что окупаемость 1 кг питательных веществ минеральных и органических удобрений прибавкой урожая зависит от многих факторов, в частности, величины доз при основном внесении и в подкормки, сроков их внесения и вида культуры (Сычев и др., 2011).

В первый год (2019 г.) из-за плохой перезимовки растений обоих сортов озимой ржи и низких летних температур эффективность внесенных удобрений была невысокой по причине низкой густоты стояния растений (приложение Ж, таблица П. 34). Независимо от срока применения удобрений максимальная

окупаемость удобрений у обоих сортов при возделывании на зеленую массу отмечена при суммарной дозе азота N_{90} в вариантах без внесения калийной селитры. Окупаемость зерна в текущем году также оказалась сравнительно низкой во всех вариантах, особенно при высоких дозах минеральных удобрений (приложение Ж, таблица П. 35). Максимальная окупаемость минеральных удобрений прибавкой урожая зерна у сорта Волхова (13 кг зерна / кг д.в.) отмечена в варианте с весенним внесением аммиачной селитры в дозе N_{30} при отрицательном балансе азота и калия в этом варианте. В варианте с весенним внесением азота в дозе N_{60} без калийной селитры и в варианте с весенним внесением азота в дозе N_{60} с калийной селитрой окупаемость минеральных удобрений прибавкой урожая зерна была несколько ниже (11 кг и 10 кг зерна / кг д.в. соответственно), однако при этом баланс азота и калия в этих вариантах был положительным. Аналогичные изменения в варьировании окупаемости внесенных удобрений наблюдались и у сорта Эврика, однако при более низкой окупаемости по сравнению с сортом Волхова.

В благоприятном 2020 году окупаемость минеральных удобрений при возделывании обоих сортов ржи на зелёную массу оказалась более высокой по сравнению с предыдущим годом (приложение Ж, таблица П. 36). Максимальная окупаемость (111 кг и 110 кг прибавки зелёной массы / кг д.в.) отмечена у сорта Волхова в вариантах с весенним внесением N_{30} и N_{60} без калия, у сорта Эврика (169 кг прибавки зеленой массы / кг д.в.) – только в варианте с весенним внесением N_{30} без калия. Максимальная окупаемость минеральных удобрений зерном у сорта Волхова в 2020 г. наблюдалась при самой низкой суммарной дозе азота при весеннем единовременном внесении калийной и аммиачной селитры в дозе $N_{30}K_{40}$ (приложение Ж, таблица П. 37). Однако в данном случае складывался отрицательный баланс как по азоту, так и по калию. У сорта Эврика более высокая окупаемость минеральных удобрений зерном отмечена в вариантах без внесения калия при N_{30} и N_{60} вне зависимости от сроков внесения удобрений. В варианте с максимальной урожайностью у сорта Эврика ($N_{60}K_{80}$) отмечена средняя величина

окупаемости удобрений при высоком возмещении выноса как азота, так и калия (122 % и 169 % соответственно).

В третий год (2021 г.) максимальная окупаемость минеральных удобрений при возделывании обоих сортов озимой ржи на зелёную массу отмечена у сорта Волхова в варианте с внесением N_{30} без калия, а у сорта Эврика – также без калия, но в варианте с внесением более высокой дозы азота (N_{60}), причем у обоих сортов озимой ржи вне зависимости от срока внесения аммиачной селитры (приложение Ж, таблица П. 38). Максимальная окупаемость минеральных удобрений зерном в 2021 г. у обоих сортов озимой ржи наблюдали в варианте с дробным внесением (N_{10} осенью + N_{20} весной) аммиачной селитры в суммарной дозе N_{30} (приложение Ж, таблица П. 39). Кроме этого, у сорта Эврика в текущем году окупаемость минеральных удобрений зерном была сравнительно высокой и в варианте N_{60} при дробном внесении аммиачной селитры.

Таблица 7.1 – Окупаемость минеральных удобрений при возделывании озимой ржи на зелёную массу, среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Волхова		Эврика	
	прибавка урожайности, кг/га	окупаемость удобрений, кг з.м. / кг д.в.	прибавка урожайности, кг/га	окупаемость удобрений, кг з.м. / кг д.в.
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	2030	68	2010	67
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	2060	29	1830	26
$N_{30}K_0$(в)	2840	95	2640	88
$N_{30}K_{40}$(в)	2790	40	2630	38
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	3080	51	3640	61
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	3080	22	3850	28
$N_{60}K_0$(в)	3830	64	4150	69
$N_{60}K_{80}$(в)	4050	29	4460	32
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(осс)+$N_{60}K_0$(в)	4620	51	5200	58
$N_{30}K_{120}$(о)+$N_{60}K_0$(в)	5230	25	5390	26
$N_{90}K_0$(в)	5250	58	5670	63
$N_{90}K_{120}$(в)	5920	28	6230	30
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

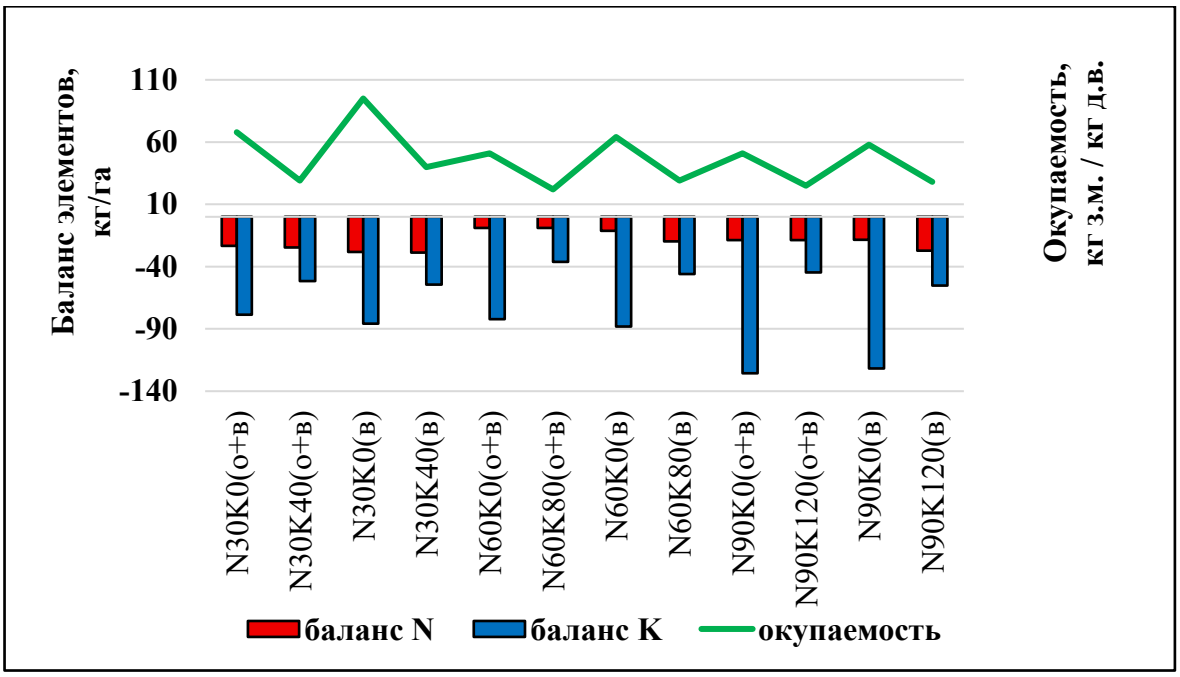


Рисунок 7.1. Окупаемость удобрений прибавкой урожая и баланс азота и калия при возделывании озимой ржи на зеленую массу (з.м.), сорт Волхова, среднее за 2019–2021 гг.

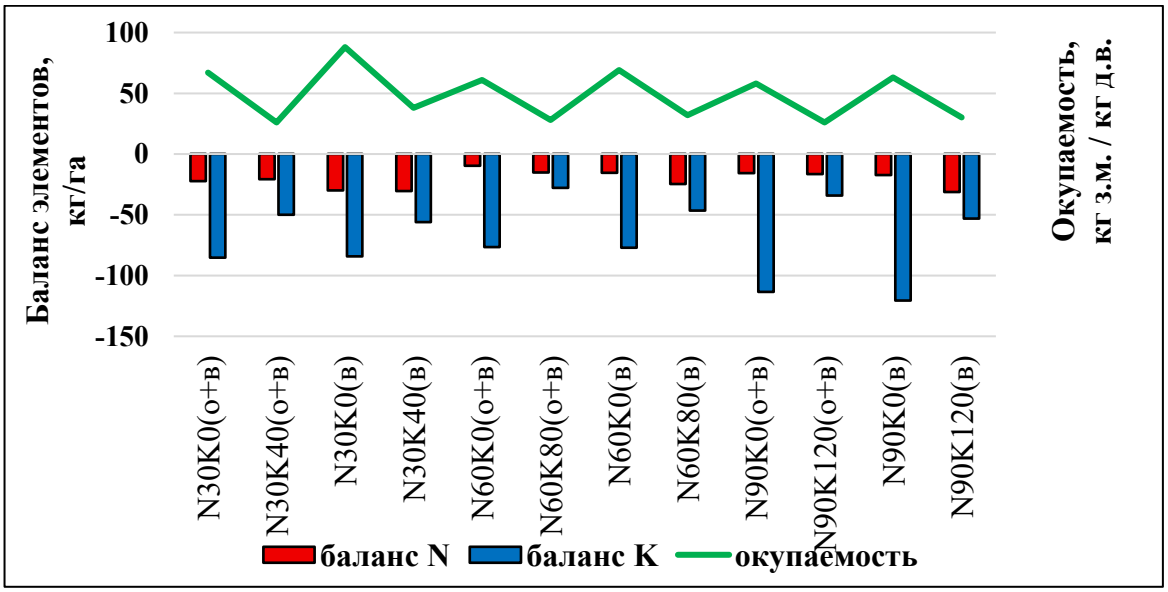


Рисунок 7.2. Окупаемость удобрений прибавкой урожая и баланс азота и калия при возделывании озимой ржи на зеленую массу (з.м.), сорт Эврика, среднее за 2019–2021 гг.

В среднем за годы исследования максимальную окупаемость минеральных удобрений при возделывании обоих сортов озимой ржи на зеленую массу сорта показали при единовременном весеннем внесении аммиачной селитры в дозе N_{30}. При этом окупаемость 1 кг удобрений составила 95 кг прибавки зелёной массы у сорта Волхова и 88 кг прибавки зеленой массы у сорта Эврика (в пересчете на

воздушно-сухое вещество) (таблица 7.1). Однако следует отметить, что во всех вариантах со сравнительно высокой окупаемостью удобрений складывался резко отрицательный баланс калия (рисунок 7.1 и 7.2).

Таблица 7.2 – Окупаемость минеральных удобрений при возделывании озимой ржи на зерно, среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Волхова		Эврика	
	прибавка зерна, кг/га	окупаемость, кг зерна / кг д.в.	прибавка зерна, кг/га	окупаемость, кг зерна / кг д.в.
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	565	19	355	12
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	443	6	387	6
$N_{30}K_0$(в)	315	11	314	10
$N_{30}K_{40}$(в)	665	10	313	5
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	822	13	678	11
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1013	7	873	6
$N_{60}K_0$(в)	485	8	609	10
$N_{60}K_{80}$(в)	1497	11	754	5
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	415	5	687	7
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	529	3	977	5
$N_{90}K_0$(в)	431	5	598	7
$N_{90}K_{120}$(в)	643	3	1192	6
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений				

В среднем за годы проведения полевого опыта максимальная окупаемость минеральных удобрений прибавкой урожая зерна у обоих сортов озимой ржи получена в варианте N_{30} с дробным внесением аммиачной селитры (N_{10} осенью + N_{20} весной), однако баланс и азота, и калия в этом варианте оказался отрицательным (таблица 7.2). Поэтому для сохранения уровня почвенного плодородия при возделывании сорта Волхова лучшим может являться вариант с весенним внесением аммиачной и калийной селитры в дозе $N_{30}K_{40}$, в котором при средней окупаемости минеральных удобрений баланс азота и калия оказался положительным (рисунок 7.3). У сорта Эврика лучшим может являться вариант с весенним внесением аммиачной и калийной селитры в дозе $N_{60}K_{80}$ и $N_{90}K_{120}$, в

которых при средней окупаемости минеральных удобрений баланс азота и калия был положительным (рисунок 7.4).

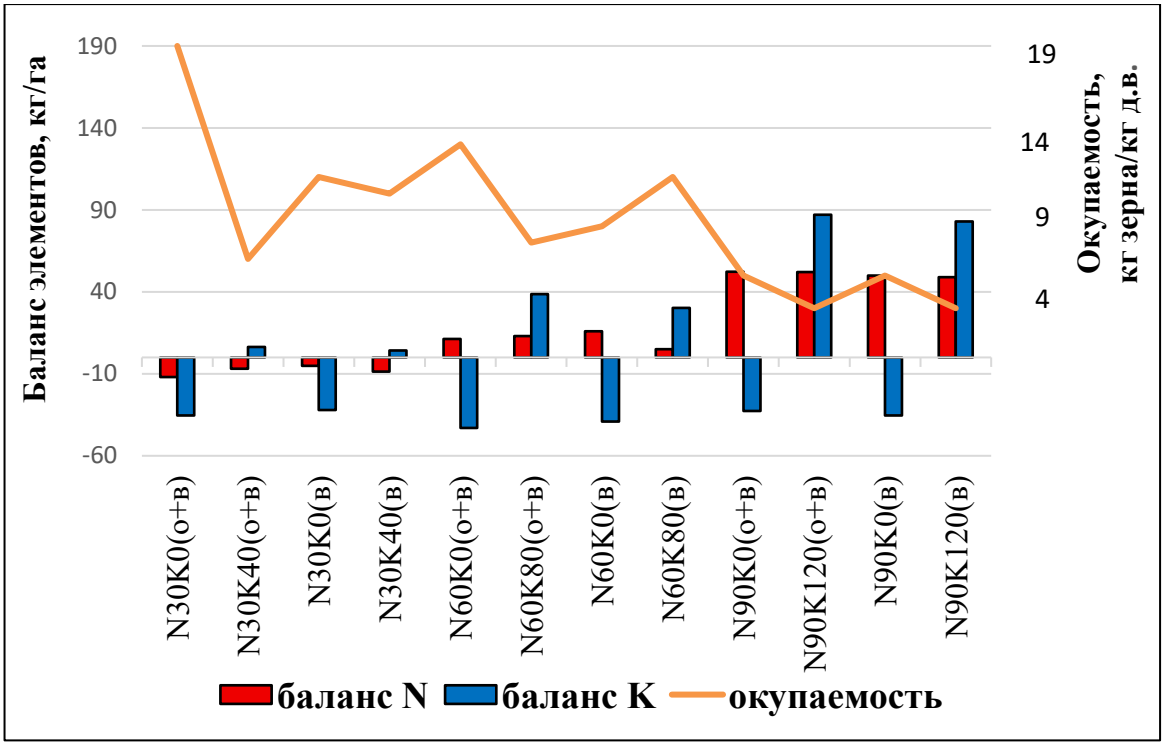


Рисунок 7.3. Окупаемость удобрений прибавкой урожая и баланс азота и калия при возделывании озимой ржи на зерно, сорт Волхова, среднее за 2019–2021 гг.

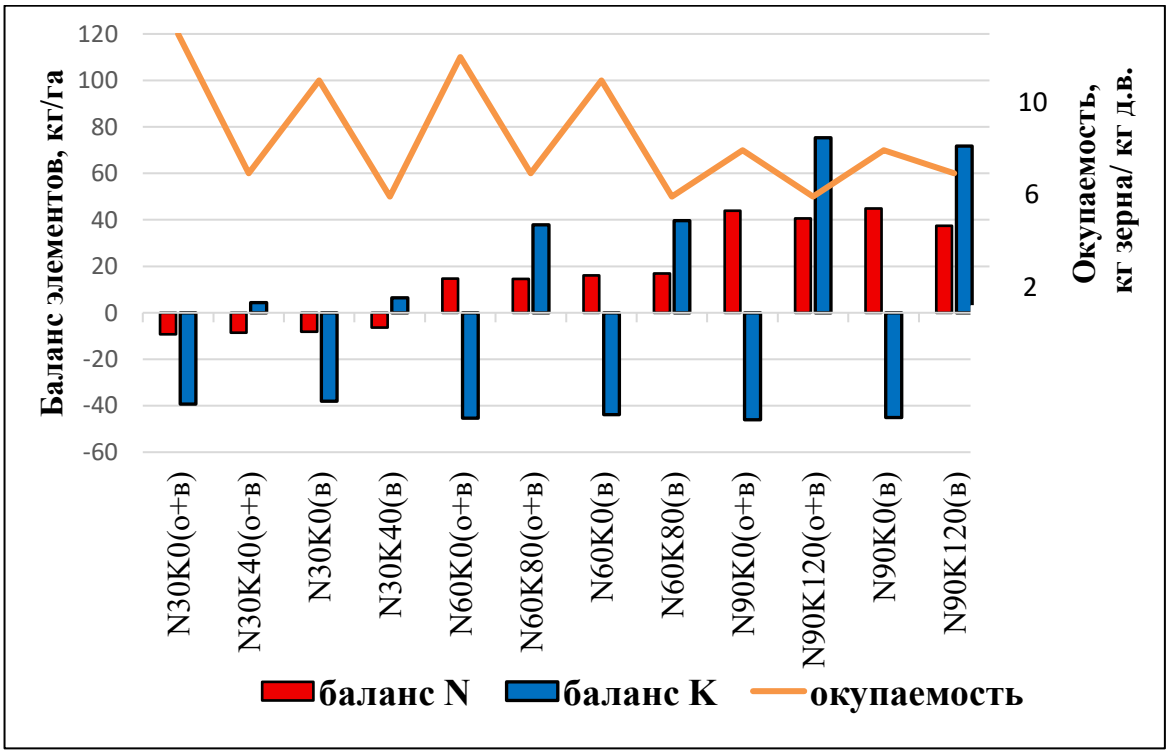


Рисунок 7.4. Окупаемость удобрений прибавкой урожая и баланс азота и калия при возделывании озимой ржи на зерно, сорт Эврика, среднее за 2019–2021 гг.

Рассматривая экономическую эффективность возделывания озимой ржи, следует отметить, что за три года проведения полевого опыта максимальная рентабельность отмечена при возделывании обоих сортов озимой ржи на зелёную массу, а не на зерно. При этом максимальная рентабельность при возделывании на зелёную массу составила 139 % у сорта Волхова в варианте с единовременным весенним внесением аммиачной селитры в дозе N_{90} и 142 % у сорта Эврика в этом же варианте (таблицы 7.3 и 7.5). Максимальная рентабельность при возделывании на зерно составила 38 % у сорта Волхова в варианте с единовременным весенним внесением аммиачной селитры в дозе N_{60} и 44 % у сорта Эврика в аналогичном варианте (таблица 7.4 и 7.6). Применение калийной селитры совместно с аммиачной увеличивало урожайность зеленой биомассы и, особенно, зерна, однако в силу более высоких цен на калийную селитру, существенно снижало рентабельность.

Таблица 7.3 – Экономическая эффективность возделывания озимой ржи сорта Волхова на зеленую массу, среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Урожайность зеленой массы, т/га	Выручка, руб./га	Затраты, руб./га	Чистая прибыль, руб./га	Рентабельность, %
Контроль	9,27	23175	20300	2875	14
суммарная доза N_{30}					
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	15,73	39325	25250	14075	56
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	15,78	39450	32200	7250	23
$N_{30}K_0$(в)	18,03	45075	22550	22525	100
$N_{30}K_{40}$(в)	17,88	44700	29500	15200	52
суммарная доза N_{60}					
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	18,51	46275	27500	18775	68
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	18,52	46300	41400	4900	12
$N_{60}K_0$(в)	20,71	51775	24800	26975	109
$N_{60}K_{80}$(в)	21,43	53575	38700	14875	38
суммарная доза N_{90}					
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	23,98	59950	29750	30200	102
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	25,75	64375	50600	13775	27
$N_{90}K_0$(в)	25,83	64575	27050	37525	139
$N_{90}K_{120}$(в)	27,86	69650	47900	21750	45
П р и м е ч а н и е: (ос) – осеннее внесение удобрений; (в) – весеннее внесение удобрений					

Таблица 7.4 – Экономическая эффективность возделывания озимой ржи сорта Волхова на зерно, среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Урожайность товарного зерна, т/га	Выручка, руб./га	Затраты, руб./га	Чистая прибыль, руб./га	Рентабельность, %
Контроль	1,12	15680	15200	480	3
суммарная доза N_{30}					
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,84	25760	20150	5610	28
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	2,08	29120	27100	2020	7
$N_{30}K_0$(в)	1,61	22540	17450	5090	29
$N_{30}K_{40}$(в)	2,29	32060	24400	7660	31
суммарная доза N_{60}					
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	2,15	30100	22400	7700	34
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	2,64	36960	36300	660	2
$N_{60}K_0$(в)	1,94	27160	19700	7460	38
$N_{60}K_{80}$(в)	3,10	43400	25020	18380	29
суммарная доза N_{90}					
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	1,68	23520	24650	-1130	-5
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	2,15	30100	45500	-15400	-34
$N_{90}K_0$(в)	1,77	24780	21950	2830	13
$N_{90}K_{120}$(в)	2,35	32900	42800	-9900	-23

Таблица 7.5 – Экономическая эффективность возделывания озимой ржи сорта Эврика на зелёную массу, среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Урожайность зеленой массы, т/га	Выручка, руб./га	Затраты, руб./га	Чистая прибыль, руб./га	Рентабельность, %
Контроль	9,49	23725	20300	3425	17
суммарная доза N_{30}					
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	15,88	39700	25250	14450	57
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	15,32	38300	32200	6100	19
$N_{30}K_0$(в)	17,89	44725	22550	22175	98
$N_{30}K_{40}$(в)	17,89	44725	29500	15225	52
суммарная доза N_{60}					
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	21,61	54025	27500	26525	96
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	22,29	55725	41400	14325	35
$N_{60}K_0$(в)	23,27	58175	24800	33375	135
$N_{60}K_{80}$(в)	24,25	60625	38700	21925	57
суммарная доза N_{90}					
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	24,81	62025	29750	32275	108
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	25,00	62500	50600	11900	24
$N_{90}K_0$(в)	26,18	65450	27050	38400	142
$N_{90}K_{120}$(в)	27,82	69550	47900	21650	45

Таблица 7.6 – Экономическая эффективность возделывания озимой ржи сорта Эврика на зерно, среднее за 2019–2021 гг.

Вариант	Урожайность товарного зерна, т/га	Выручка, руб./га	Затраты, руб./га	Чистая прибыль, руб./га	Рентабельность, %
Контроль	1,25	17500	15200	2300	15
суммарная доза N_{30}					
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,78	24920	20150	4770	24
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	2,24	31360	27100	4260	16
$N_{30}K_0$(в)	1,75	24500	17450	7050	40
$N_{30}K_{40}$(в)	2,19	30660	24400	6260	26
суммарная доза N_{60}					
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	2,10	29400	22400	7000	31
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	2,70	37800	36300	1500	4
$N_{60}K_0$(в)	2,02	28280	19700	8580	44
$N_{60}K_{80}$(в)	2,58	36120	33600	2520	8
суммарная доза N_{90}					
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	2,19	30660	24650	6010	24
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	2,84	39760	45500	-5740	-13
$N_{90}K_0$(в)	2,04	28560	21950	6610	30
$N_{90}K_{120}$(в)	3,03	42420	42800	-380	-1

Выводы по главе

Максимальная окупаемость минеральных удобрений при возделывании на зеленую массу у обоих сортов озимой ржи получена при единовременном весеннем внесении аммиачной селитры в дозе N_{30}, при этом баланс азота и калия в данном варианте был отрицательным. Максимальная окупаемость удобрений зерном у обоих сортов получена в варианте с дробным внесением аммиачной селитры в дозе N_{30}, баланс азота и калия в этом варианте складывался отрицательным. Положительный баланс азота и калия у сорта Волхова при сравнительно высокой окупаемости минеральных удобрений достигнут в варианте с весенним внесением аммиачной и калийной селитры в дозе $N_{30}K_{40}$, у сорта Эврика – в дозах $N_{60}K_{80}$ и $N_{90}K_{120}$. В почвенно-климатических условиях Ленинградской области рентабельность возделывания обоих сортов озимой ржи на зелёную массу была в 3,2–3,5 раза выше, чем рентабельность возделывания на зерно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Зимостойкость изученных сортов озимой ржи Волхова и Эврика существенно не изменялась при осеннем внесении как аммиачной, так и калийной селитры, оставаясь на уровне контроля. Зимостойкость растений обоих сортов в большей степени варьировала по годам, чем в зависимости от применения различных доз минеральных удобрений. При этом осеннее внесение калийной селитры не дало ожидаемого протекторного эффекта.

2. Степень полегания растений озимой ржи в основном определялась сортовыми особенностями, а также дозами и сроками внесения аммиачной и калийной селитры. Полегание устойчивого сорта Эврика было незначительным во всех вариантах во все годы опыта и варьировало в пределах от 0 до 22 %. Сорт Волхова был более склонен к полеганию, чем сорт Эврика, и в вариантах с единовременным весенним внесением средних и высоких доз азота (N_{60} и N_{90}) и калия ($К_{80}$ и $К_{120}$) полегание достигало 84 %.

3. С возрастанием доз азота как при осеннем, так и весеннем его внесении урожайность зелёной массы существенно возрастала. Максимальная урожайность зеленой массы у обоих сортов озимой ржи отмечена при внесении суммарной дозы азота N_{90} в вариантах с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры: прибавка к контролю составила 5,92 т/га у сорта Волхова и 6,23 т/га в. с. в. у сорта Эврика. Прибавка урожая зелёной массы при весеннем внесении калийной селитры была достоверно выше, чем в вариантах с весенним применением только аммиачной селитры с аналогичными дозами по азоту.

4. Максимальная урожайность зерна у обоих сортов озимой ржи отмечена в варианте с единовременным весенним внесением калийной и аммиачной селитры: у сорта Волхова при суммарной дозе азота N_{60}, а у сорта Эврика – N_{90}. При этом прибавка урожая зерна по сравнению с контролем у первого сорта составила 1,57 т/га, у второго – 1,29 т/га. По итогам статистической обработки полученных данных оптимальными дозами азотных и калийных удобрений для получения максимального урожая зерна при возделывании сорта Волхова являются осеннее внесение аммиачной селитры в дозе N_{15} наряду с весенним внесением $N_{60}К_{120}$ в виде

аммиачной и калийной селитры. Дозы азотных и калийных удобрений для получения максимального урожая у сорта Эврика находятся за пределами изученных в полевом опыте.

5. Урожайность зерна сорта Волхова при низкой (N_{30}) и высокой (N_{90}) суммарной дозе азота определялась в основном густотой продуктивного стеблестоя, при средней (N_{60}) – как густотой продуктивного стеблестоя, так и массой зерна с колоса. Урожайность зерна сорта Эврика при низкой и средней суммарных дозах азота была связана положительной зависимостью с массой зерна с колоса и отрицательно – с густотой продуктивного стеблестоя, а при высокой (N_{90}) – положительно с густотой продуктивного стеблестоя. При этом максимальное существенное положительное влияние на густоту продуктивного стеблестоя обоих сортов озимой ржи оказывали азот и калий при весеннем их применении, а на массу зерна с колоса – только аммиачная селитра при осеннем ее внесении. Масса зерна с одного колоса определялась числом зёрен в колосе, так как каких-либо существенных изменений массы 1000 зёрен, происходящих под действием минеральных удобрений, у обоих сортов озимой ржи не отмечено.

6. Натура зерна обоих сортов озимой ржи существенно определялась только весенним применением азотных и калийных удобрений. При этом каждая последующая доза азота по сравнению с предыдущей приводила к большему уменьшению натуры зерна, а каждая последующая доза калия – к большему ее увеличению. То есть, весеннее внесение калия может нивелировать отрицательное влияние азотных удобрений на величину натуры зерна. «Число падения» у обоих сортов озимой ржи практически не зависело от доз и сроков применения как азотных, так и калийных удобрений и во все годы проведения опыта в основном определялось условиями увлажнения, складывающимися в период налива зерна.

7. Содержание белка в зерне озимой ржи варьировало по вариантам опыта в пределах 10,8–11,4 % у сорта Волхова и 10,7–11,1 % у сорта Эврика. Оптимальная доза аммиачной селитры для максимального накопления белка в зерне обоих сортов озимой ржи практически одинакова и составляет 15 кг/га д.в. осенью и 60 кг/га д.в. весной. При этом содержание белка в зерне обоих сортов озимой ржи по

годам исследований варьировало в большей степени, чем по вариантам опыта, и находилось в пределах 9,7–12,1 %. Содержание крахмала в зерне обоих сортов не зависело от доз и сроков внесения азота, но существенно изменялось с возрастанием доз калия при весеннем его применении: с увеличением дозы калия содержание крахмала в зерне сначала снижалось, а после достижения минимальных величин (точек экстремума при дозах 57 и 68 кг/га д.в. у сорта Волхова и Эврика соответственно) содержание крахмала в зерне обоих сортов начинало возрастать. Содержание сырого жира в зерне обоих сортов озимой ржи является достаточно стабильной величиной, не зависящей от уровня азотно-калийного питания.

8. Содержание общего азота в зеленой массе существенно возрастало под действием осеннего и весеннего внесения азотных удобрений и снижалось под влиянием осеннего (у сорта Волхова) или весеннего (у сорта Эврика) применения калия. Содержание калия в зеленой массе обоих сортов озимой ржи увеличивалось с возрастанием доз калийной селитры как при осеннем, так и весеннем ее внесении, но уменьшалось при осеннем внесении аммиачной селитры.

9. Содержание общего азота (сырого белка) в зерне обоих сортов озимой ржи определялось в основном только дозами и сроками внесения аммиачной селитры. Оптимальные её дозы для максимального накопления в зерне общего азота (и сырого белка, соответственно) у обоих сортов озимой ржи практически одинаковы и составляют 15 кг/га д.в. осенью и 60 кг/га д.в. весной. Содержание калия в зерне обоих сортов во всех вариантах с применением удобрений варьировало в незначительных пределах и составляло 1,51–1,62 % а. с. в. Хозяйственный вынос азота и калия зелёной массой и зерном обоих сортов озимой ржи в основном определялся уровнем урожайности и, в меньшей степени, относительным их содержанием в надземной массе и в зерне.

10. Максимальный коэффициент использования азота и калия из удобрений на формирование урожая надземной биомассы у обоих сортов озимой ржи отмечен в вариантах с единовременным внесением аммиачной и калийной селитры весной в дозах $N_{30}К_{40}$ (70,0 и 75,8 % для азота и калия соответственно у сорта Волхова и

70,0 и 83,3 % соответственно у сорта Эврика), $N_{60}К_{80}$ (67,7 и 77,4 % для азота и калия соответственно у сорта Волхова и 75,2 и 79,8 % соответственно у сорта Эврика) и $N_{90}К_{120}$ (86,7 и 92,6 % для азота и калия соответственно у сорта Волхова и 90,8 и 91,8 % соответственно у сорта Эврика). Наиболее эффективное использование азота и калия удобрений на формирование урожая зерна отмечено в вариантах с единовременным весенним внесением аммиачной и калийной селитры: у сорта Волхова – в дозе $N_{60}К_{80}$ (43,2 и 32 % для азота и калия соответственно), у сорта Эврика – $N_{90}К_{120}$ (23,0 и 18,3 % соответственно).

11. Максимальная окупаемость минеральных удобрений при возделывании на зеленую массу у обоих сортов озимой ржи получена при единовременном весеннем внесении аммиачной селитры в дозе N_{30}, при этом баланс азота и калия в данном варианте, как и во всех остальных вариантах опыта, был отрицательным. Максимальная окупаемость удобрений зерном у обоих сортов получена в варианте с дробным внесением аммиачной селитры в дозе N_{30}, однако баланс азота и калия в этом варианте складывался отрицательным. Положительный баланс азота и калия у сорта Волхова при сравнительно высокой окупаемости минеральных удобрений зерном достигнут в варианте с весенним внесением аммиачной и калийной селитры в дозе $N_{30}К_{40}$, а у сорта Эврика – в дозе $N_{90}К_{120}$. В почвенно-климатических условиях Ленинградской области рентабельность возделывания обоих сортов озимой ржи на зелёную массу была в 3,2–3,5 раза выше, чем рентабельность возделывания на зерно.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

На дерново-подзолистых, легкосуглинистых, среднекислых почвах Ленинградской области, характеризующихся высоким содержанием фосфора и средним содержанием калия, для получения максимальной урожайности зеленой массы при возделывании сортов озимой ржи Волхова и Эврика необходимо единовременное весеннее внесение аммиачной и калийной селитры в дозе $N_{90}К_{120}$.

Для получения максимальной урожайности озимой ржи при возделывании на зерно необходимо весеннее внесение калийной селитры совместно с аммиачной в дозе $N_{60}К_{80}$ для сорта Волхова и $N_{90}К_{120}$ для сорта Эврика.

С целью сохранения исходного уровня плодородия дерново-подзолистой, легкосуглинистой почвы при возделывании озимой ржи на зерно рекомендуется весеннее внесение аммиачной и калийной селитры в дозе $N_{60}К_{80}$ у сорта Волхова и $N_{90}К_{120}$ у сорта Эврика, когда при сравнительно высокой окупаемости минеральных удобрений баланс азота и калия складывается положительным.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

В дальнейшем планируется изучение влияния на урожайность, технологические качества и биохимический состав зерна озимой ржи различных сроков и доз внесения хлорида калия и сульфата калия на фоне варьирующих уровней азотного питания, созданных внесением аммиачной селитры. При этом необходимо оценить эффективность как осеннего, так и весеннего сроков внесения различных форм и доз калийных удобрений под озимую рожь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абашев, В.Д. Влияние возрастающих доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимой ржи / В.Д. Абашев, Е.В. Светлакова, Ф.А. Попов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2014. – № 4(41). – С. 26–30.

2. Абашев, В.Д. Влияние минеральных удобрений на урожайность культур зернопаротравяного севооборота / В.Д. Абашев, Е.В. Светлакова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2015. – № 2(45). – С. 37–43.

3. Абашев, В.Д. Кормовые культуры в основных и промежуточных посевах / В.Д. Абашев, Е.Н. Носкова, А.В. Денисова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2009. – № 1(12). – С. 82–84.

4. Абашев, В.Д. Эффективность минеральных удобрений при возделывании различных сортов озимой ржи / В.Д. Абашев, Ф.А. Попов, Е.Н. Носкова, Е.В. Светлакова // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2020. – Т. 6. – № 2(22). – С. 131–137. – DOI 10.30914/2411-9687-2020-6-2-131-136.

5. Агеев, В.В. Калий в современном земледелии. Проблемы и их решения / В.В. Агеев, О.Ю. Лобанкова, Ю.И. Гречишкина [и др.] // Вестник АПК Ставрополья. – 2016. – № 2 (22). – С. 115–121.

6. Акимова, О.И. Влияние уровня азотного питания на урожай зерна озимой ржи / О.И. Акимова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 8(106). – С. 013–018.

7. Акимова, О.И. Формирование элементов зимостойкости озимой ржи в период осеннего роста и развития / О.И. Акимова // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2007. – № 4 (172). – С. 23–31.

8. Анисимов, Ю.Б. Экологизация обработки почвы и посева в биологическом земледелии Южного Зауралья / Ю.Б. Анисимов, А.А. Агеев // Рациональное использование земельных ресурсов в условиях современного развития АПК:

Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Тюмень, 2021. – С. 221–226.

9. Артемьева, З.С. Миграционная доступность калия растениям на суглинистых почвах / З.С. Артемьева, А.С. Фрид, В.И. Титова // Агрохимия. – 2019. – № 7. – С. 16–26. – DOI: 10.1134/S0002188119070032.

10. Артюшина О.Ю. Особенности действия азотных удобрений на урожай и качество зерна коротко- и длинностебельных сортов яровой пшеницы / О.Ю. Артюшина // Тез. докл. XXXI конференции «Эффективность применения средств химизации и продуктивность сельскохозяйственных культур». – Москва, 1996. – 12 с.

11. Афанасьев, Р.А. Сорбция аммонийного азота почвами и грунтами различного гранулометрического состава / Р.А. Афанасьев, К.В. Белоусова, В.А. Литвинский [и др.] // Проблемы агрохимии и экологии. – 2016. – № 3. – С. 26–29.

12. Аюпов, Д.С. Влияние азотной подкормки и сроков уборки на содержание пентозанов и хлебопекарные качества зерна озимой ржи: автореферат диссертации / Д.С. Аюпов. – Уфа, 2005. – 19 с.

13. Башкин, В.Н. Повышение эффективности использования азота: проблемы и пути решения / В.Н. Башкин // Агрохимия. – 2022. – № 7. – С. 82–96.

14. Беленков, А.И. Приемы возделывания зерновых агроценозов на дерново-подзолистых почвах Центрального района нечерноземной зоны РФ в зависимости от видов удобрений / А.И. Беленков, Н.С. Матюк, А.Г. Аббас Убайд // Кормопроизводство. – 2024. – № 3. – С. 17–26.

15. Белоус, И.Н. Влияние систем удобрения озимой ржи на урожайность и технологические качества зерна / И.Н. Белоус / Зерновое хозяйство России. – 2018. – №3 (57). С. 3–8.

16. Белоус, И.Н. Урожайность и показатели качества зерна озимой ржи при комплексном применении средств химизации / И.Н. Белоус, В.Н. Адамко // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 2. – С. 46–48.

17. Битюцкий, Н.П. Микроэлементы и растение: / Н.П. Битюцкий. – СПб: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 1999. – 232 с.

18. Бузунова, М.Ю. Влияние подкормки азотом на минеральный состав зерновых на примере ржи / М.Ю. Бузунова // Вестник ИрГСХА. – 2020. – № 99. – С. 24–30.

19. Булатов, С.Ю. Результаты исследований работы установки для приготовления жидких сахаристых кормов из зерна ржи / С.Ю. Булатов, В.Н. Нечаев, С.В. Семенов // Техника и технологии в животноводстве. – 2022. – № 4(48). – С. 51–55. – DOI 10.51794/27132064-2022-4-51.

20. Валитов, Х.З. Продуктивные показатели коров при включении в их рацион сенажа из озимой ржи / Х.З. Валитов, С.В. Карамаев, В.А. Корнилова // Инновационные достижения науки и техники АПК: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Кинель: ИБЦ Самарский ГАУ, 2024. – С. 75–83.

21. Вильке, Ф. Почему рожь возвращается в рацион свиней / Ф. Вильке // Комбикорма. – 2024. – № 12. – С. 44–45.

22. Волкова, Е.С. Влияние минеральных удобрений и биопрепаратов на урожайность и качество зелёной массы озимой ржи / Е.С. Волкова // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 4(41). – С. 27–38.

23. Волкова, Е.С. Влияние удобрений и плодородия почвы на урожайность зерна и вынос кальция растениями озимой ржи / Е.С. Волкова // Перспективные направления рационального землепользования и цифровизация земледелия: Сборник докладов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 300-летию Российской академии наук. – Курск: ФГБНУ "Курский ФАНЦ", 2023. – С. 295–300.

24. Володина, Т.И. Потребление азота, сбор протеина культурами севооборота под влиянием минеральной и органических систем удобрений / Т.И. Володина, О.В. Чухина, А.И. Демидова // Молочнохозяйственный вестник. – 2019. – № 4(36). – С. 31–45.

25. Воробьева, Л.А. Элементный состав продукции растениеводства в зависимости от условий окружающей среды и доз макроудобрения / Л.А.

Воробьева, В.А. Анищенко, В.Н. Адамко, Е.В. Смольский // Политематический научный журнал КубГау. – 2024. – № 203. – С. 389–398.

26. Гагарина, Э.И. Почвы и почвенный покров Северо-Запада России / Э.И. Гагарина, Н.Н. Матинян, Л.С. Счастная, Г.А. Касаткина. – СПб., 1995. – 236 с.

27. Гамзиков, Г.П. Азотминерализующая способность серой лесной почвы Новосибирского Приобья при компостировании и паровании растительных остатков / Г.П. Гамзиков, С.З. Сулейменов // Почвоведение. – 2021. – № 5. – С. 582–591. – DOI 10.31857/S0032180X21050087.

28. Глазов, Р.А. Вынос элементов питания культурами севооборота / Р.А. Глазов, Д.Е. Смирнов, Е.Н. Кузовлев // Инновационные технологии в сельском хозяйстве и лесном комплексе, Вологда-Молочное. – Вологда-Молочное: Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, 2018. – С. 33–37.

29. Голенков, В.Ф. Проблемы биохимии ржи в связи с оценкой ее качества: автореферат диссертации / В.Ф. Голенков. – Москва, 1973. – 57 с.

30. Голенков, В.Ф. Проблемы качества и пищевой ценности зерна ржи / В.Ф. Голенков // Труды ВНИИЗ. – 1971. – Вып. 7. – С. 27–39.

31. Гончаренко, А.А. Актуальные вопросы селекции озимой ржи / А.А. Гончаренко. – Москва, 2014. – 369 с.

32. Гончаренко, А.А. Производство и селекция озимой ржи в России / А.А. Гончаренко // Зерновое хозяйство России. – 2010. – № 4(10). – С. 26–33.

33. Данилов, Д.А. Повышение плодородия почвы и продуктивности овощных культур при влиянии сидератов / Д.А. Данилов, С.С. Авдеенко // Рост и воспроизводство научных кадров в АПК : Сборник трудов по итогам Российской национальной научно-практической интернет-конференции для обучающихся и молодых ученых. – Нижний Новгород: ФГБОУ ВПО "Нижегородская ГСХА", 2020. – С. 13–16.

34. Дзюин, А.Г. Влияние соломы в сочетании с минеральными, органическими и сидеральными удобрениями на биологическую активность почвы

/ А.Г. Дзюин // Агрохимия. – 2022. – № 11. – С. 72–79. – DOI 10.31857/S0002188122110059.

35. Дзюин, Г.П. Коэффициенты использования азота, фосфора и калия из минеральных удобрений, навоза и почвы культурами севооборота / Г.П. Дзюин, А.Г. Дзюин // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 5–1. – С. 83–90.

36. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов // М., 1985. – 335 с.

37. Егоров, И. Повышаем эффективность мясного птицеводства / И. Егоров, Т. Егорова // Животноводство России. – 2025. – № 1. – С. 19–22. – DOI 10.25701/ZZR.2025.01.001.

38. Ермошкина, Н.Н. Взаимосвязь между урожайностью и элементами ее структуры сортообразцов диплоидной и тетраплоидной озимой ржи в условиях Западно-Сибирского региона / Н.Н. Ермошкина // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2024. – Т. 54, № 7. – С. 36–44. – DOI 10.26898/0370-8799-2024-7-4.

39. Жестянова, Л.В. Доращивание бычков комбикормами с рожью / Л.В. Жестянова, Л.Р. Михайлова, В.С. Шерне, А.Ю. Лаврентьев // Наука и инновации в высшей школе: Материалы международной научно-практической конференции. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2024. – С. 112–116.

40. Жуков, Ю.П. Влияние различных доз удобрений на урожайность культур севооборота и агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы / Ю.П. Жуков, О.В. Чухина, Н.В. Токарева, Е.И. Куликова // Плодородие. – 2015. – № 2(83). – С. 14–20.

41. Завьялова, Н.Е. Влияние минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, содержание основных элементов питания и тяжелых металлов в озимой ржи / Н.Е. Завьялова, М.Т. Васбиева, Д.Г. Шишков // Агрохимия. – 2021. – № 4. – С. 49–56. – DOI 10.31857/S0002188121040153.

42. Завьялова, Н.Е. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур в длительном стационарном опыте в климатических условиях Предуралья / Н.Е. Завьялова, Д.Г. Шишков // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 5. – С. 5–17. – DOI 10.26897/0021-342X-2020-5-5-17.

43. Завьялова, Н.Е. Калийное состояние дерново-подзолистой почвы длительного стационарного опыта в условиях Предуралья / Н.Е. Завьялова, М.Т. Васбиева, Д.Г. Шишков, Е.С. Дир // Плодородие. – 2021. – № 4(121). – С. 43–47. – DOI 10.25680/S19948603.2021.121.13.

44. Зинковская, Т.С. Коэффициент использования азота удобрений озимой рожью и ячменём на дерново-подзолистой осушаемой почве / Т.С. Зинковская // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 3-2 (34). – С. 20–21.

45. Золотарева, Р.И. Зависимость структуры урожая озимой ржи от сорта и внесения минерального удобрения / Р.И. Золотарева, В.А. Максимов // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Материалы XVI Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию становления и развития аграрной науки в Республике Мордовия и памяти профессора С.А. Лапшина. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2020. – С. 204–210.

46. Иванов, А.И. Современные подходы к проектированию системы удобрения зерновых культур / А.И. Иванов, И.А. Иванов, Ж.А. Иванова // Научное обеспечение развития производства зерна на северо-западе России: Сборник материалов конференции. – СПб., 2014. – С. 48–66.

47. Иванов, А.И. Современные деградационные процессы в хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах / А.И. Иванов, В.А. Воробьев, Ж.А. Иванова // Проблемы агрохимии и экологии. – 2015. – № 3. – С. 15–19.

48. Иванова, М.С. Биохимическая характеристика зерна озимых зерновых культур / М.С. Иванова // Вестник биотехнологии. – 2023. – № 1(34).

49. Иванова, С.Е. Первые результаты научного проекта по совершенствованию рекомендаций по внесению калийных удобрений в России / С.Е. Иванова, В.А. Романенков, Л.В. Никитина // Вестник Международного института питания растений. – 2014. – № 1. – С. 2–5.

50. Иванова, Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей. – М.: Агропромиздат, 1989. – 235 с.

51. Исмагилов, Р.Р. Качество и технология производства продовольственного зерна озимой ржи / Р.Р. Исмагилов, Р.Б. Нурлыгаянов, Т.Н. Ванюшина. – Москва: АгриПресс, 2001. – 223 с.

52. Исмоилов, В.И. Влияние сроков посева и норм удобрений на урожайность и качество сортов ржи / В.И. Исмоилов, Б.Т. Мавлонов, Ш.Н. Турсунов // Актуальные проблемы современной науки. – 2024. – № 1(136). – С. 16–19.

53. Капранов, В.Н. Баланс элементов питания в технологиях возделывания сортов озимой ржи (*Secale cereale* L.) на дерново-подзолистых почвах / В.Н. Капранов, А.В. Зеленев, Е.Ф. Киселев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2024. – № 5(77). – С. 24–34. – DOI 10.32786/2071-9485-2024-05-03.

54. Карманенко, Н.М. Зимостойкость, минеральное питание и продуктивность озимой пшеницы: автореферат диссертации / Н.М. Карманенко. – Москва, 1993. – 46 с.

55. Кобылянский, В.Д. Рожь. Генетические основы селекции: монография / В.Д. Кобылянский. – М.: Колос, 1982. – 271 с.

56. Коляда, В.В. Влияние изменения климата на динамику урожайности зерновых культур в регионах Беларуси / В.В. Коляда // Природопользование. – 2023. – № 1. – С. 17–26. DOI: 10.47612/2079-3928-2023-1-17-26.

57. Кондратенко, Е.П. Накопление углеводов и жира в зерне озимых культур в зависимости от сортовых особенностей / Е.П. Кондратенко, О.Б. Константинова, О.М. Соболева, Е.А. Ижмулкина // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 8(130). – С. 27–34.

58. Кондратенко, Е.П. Оценка уровня накопления макро- и микроэлементов зерном озимых культур, выращенных на юго-востоке Западной Сибири / Е.П. Кондратенко, О.Б. Константинова, О.М. Соболева // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – № 6. – С. 18–20.

59. Кононов, А.С. Влияние форм азотных удобрений на одновидовые и смешанные бобово-злаковые агроценозы / А.С. Кононов // Вестник Брянского государственного университета. – 2011. – № 4. – С. 157–161.

60. Коренев, В.Б. Влияние возрастающих доз калийных удобрений на урожай и накопление 137Cs сельскохозяйственными культурами / В.Б. Коренев, Л.А. Воробьева // Агрохимический вестник. – 2016. – № 2. – С. 20–22.

61. Коренев, В.Б. Урожайность и качество зерна озимой ржи в зависимости от систем удобрения / В.Б. Коренев, Л.А. Воробьева // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: Материалы XII международной научной конференции. – Брянск: Брянский ГАУ, 2015. – С. 316–320.

62. Косолапова, А.И. Урожайность озимой ржи Фалёнская 4 в зависимости от возрастающих доз минеральных удобрений / А.И. Косолапова, П.А. Лейних // Агротехнологии XXI века: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 85-летию основания Пермской ГСХА и 150-летию со дня рождения академика Д.Н. Прянишникова. Том 1. – Пермь: ИПЦ Прокростъ, 2015. – С. 45–49.

63. Крутова, А.В. Напитки функционального назначения с использованием пророщенного зерна пшеницы и ржи / А.В. Крутова, С.О. Некрасова // Наука, образование и инновации для АПК: состояние, проблемы и перспективы: Материалы VIII Международной научно-практической конференции. – Майкоп: Магарин Олег Григорьевич, 2024. – С. 205–209.

64. Кузьминых, А.Н. Значение озимых хлебов для зернового хозяйства / А.Н. Кузьминых, Д.С. Горохов // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: Материалы международной научно-практической конференции. – Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2024. – С. 70–73.

65. Кузьмич, М.А. Зимостойкость озимой тритикале в условиях Московской области / М.А. Кузьмич, Л.С. Кузьмич, А.В. Чуйкова // Агрохимический вестник. – 2008. – № 2. – С. 30–32.

66. Лаврова, А.С. Озимая рожь как предшественник для выращивания сои в полевых севооборотах южной лесостепи Омской области / А.С. Лаврова // Сборник материалов XXX научно-технической студенческой конференции: Материалы XXX научно-технической студенческой конференции. – Омск: Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2024. – С. 43–46.

67. Лапа, В.В. Эффективность систем удобрения озимой ржи при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве / В.В. Лапа, Н.Н. Ивахненко, А.А. Грачева, С.М. Шумак // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 1(56). – С. 105–121.

68. Лапшин, Ю.А. Смешанные озимые агрофитоценозы как способ производства высококачественного зеленого корма и фуражного зерна / Ю.А. Лапшин // Вестник Марийского государственного университета. Серия: сельскохозяйственные науки. – 2016. – Т. 2. – № 1(5). – С. 30–35.

69. Лесовская, М.И. Нетрадиционный ингредиент с функциональными свойствами для производства ржаного хлеба / М.И. Лесовская, Н.Л. Кабак // Научно-практические аспекты развития АПК: Материалы Всероссийской научной конференции. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2024. – С. 187–191.

70. Логинов, Ю.П. Сидераты под картофель / Ю.П. Логинов, А.А. Казак // Картофель и овощи. – 2016. – № 4. – С. 29–31.

71. Лопаткина, Е.Д. Выращивание промежуточных культур как способ улучшения обеспеченности кормами и борьбы с засоренностью полей / Е.Д. Лопаткина, А.М. Ленточкин // Аграрный вестник Урала. – 2012. – № 1(93). – С. 10–12.

72. Лыскова, И.В. Урожайность и качество сельскохозяйственных культур в зависимости от плодородия дерново-подзолистой почвы / И.В. Лыскова, Т.В.

Лыскова // Агрохимия. – 2023. – № 10. – С. 9–19. – DOI 10.31857/S0002188123100101.

73. Макаров, В.И. Влияние азотных удобрений на кислотность дерново-подзолистой супесчаной почвы и химический состав лизиметрических вод / В.И. Макаров // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4 (138). – С. 89–95.

74. Макаров, В.И. К физиологической кислотности азотных удобрений / В.И. Макаров // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. Агроэкология. – 2013. – № 8 (106). – Р. 27–30.

75. Мамаева, Г.Г. Влияние почвопокровных парозанимающих культур (овес, рожь) на уменьшение вымывания нитратов грунтовыми и дренажными водами из почвы в севообороте кукуруза-соя; лизиметрические опыты с ненарушенными почвенными монолитами / Г.Г. Мамаева // Экологическая безопасность в АПК. – 2005. – № 3. – С. 592.

76. Мамиев, Д.М. Воспроизводство плодородия почв в адаптивно-ландшафтных системах земледелия предгорной зоны РСО - Алания / Д.М. Мамиев // Научная жизнь. – 2020. – Т. 15, № 5(105). – С. 631–639.

77. Марон, К.А. Перспективы использования фуражных сортов озимой ржи в кормлении / К.А. Марон, А.В. Безгодов // Journal of Agriculture and Environment. – 2022. – № 1(21). – DOI 10.23649/jae.2022.1.21.6.

78. Марьина-Чермных, О.Г. Снежная плесень на посевах озимых зерновых культур / О.Г. Марьина-Чермных, Г.М. Хисматуллина // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». – 2016. – Vol. 2. – № 3 (7). – Р. 35–38.

79. Маслов, М.Н. Влияние внесения пожнивных остатков и минерального азотного удобрения на продуцирование закиси азота агродерново-подзолистой почвой / М. Маслов, Л.А. Поздняков, О.А. Маслова // Современные проблемы биологии, экологии, химии и естественно-научного образования: Сборник научных статей Всероссийской научно-практической конференции. – Ярославль: Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, 2021. – С. 70–74.

80. Мелешкина, Е.П. Производство, переработка и потребление зерна ржи в России: направления развития / Е.П. Мелешкина, О.И. Бундина // Пищевая промышленность. – 2020. – № 12. – С. 55–59. – DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10144.

81. Михайлова, Л.Р. Доращивание бычков комбикормами с рожью / Л.Р. Михайлова, Л.В. Жестянова, В.С. Шерне, А.Ю. Лаврентьев // Аграрная наука и инновационное развитие АПК: состояние, проблемы и перспективы: сборник материалов международной научной конференции. – Смоленск: Смоленская государственная сельскохозяйственная академия, 2024. – С. 302–305.

82. Молявко, А.А. Влияние удобрений на содержание подвижного фосфора и обменного калия в дерново-подзолистой супесчаной почве / А.А. Молявко, А.В. Марухленко, Н.П. Борисова // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: материалы XXI международной научной конференции. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2024. – С. 242–249.

83. Мурыгин, В.П. Влияние срока и дозы азотной подкормки на урожайность озимых культур / В.П. Мурыгин, В.А. Попов, С.Л. Елисеев // Пермский аграрный вестник. – 2016. – № 3(15). – С. 53–59.

84. Мурыгин, В.П. Урожайность и натура зерна озимой ржи в зависимости от срока и дозы азотной подкормки / В.П. Мурыгин, В.А. Попов, С.Л. Елисеев // Пермский аграрный вестник. – 2017. – № 2(18). – С. 43–47.

85. Мязин, Н.Г. Взаимовлияние калийного и кальциевого режимов чернозема выщелоченного при многолетнем внесении удобрений и мелиоранта / Н.Г. Мязин, А.Н. Кожокина, П.Т. Брехов, П.И. Подрезов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2019. – № 1. – С. 53–58. – DOI 10.30850/vrsn/2019/1/53-58.

86. Небольсин, А.Н. Известкование почв: Результаты 50-летних полевых опытов / А.Н. Небольсин, З.П. Небольсина. – Санкт-Петербург: Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства "Белогорка", 2010. – 254 с.

87. Неволина, К.Н. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимых зерновых культур в Предуралье / К.Н. Неволина // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 5, 2013. – С. 27–29.

88. Ненайденко, Г.Н. Удобрение и повышение качества зерна / Г.Н. Ненайденко, Л.И. Ильин // Владимирский земледелец. – 2017. – № 3(81). – С. 23–28.

89. Никитин, А.В. Новое о нитрате: сигналинг у растений в действии / А.В. Никитин, С.Ф. Измайлов // Природа. – 2019. – № 10(1250). – С. 43–48.

90. Никитина, Л.В. Обеспеченность почв калием и эффективность калийных удобрений в опытах / Л.В. Никитина // Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия: Сборник докладов XVI Международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева», посвященной 175-летию со дня рождения В.В. Докучаева. – Курск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Курский федеральный аграрный научный центр", 2021. – С. 305–309.

91. Никитина, Л.В. Обменный калий и его подвижность в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава / Л.В. Никитина, В.А. Романенков, М.П. Листова // Плодородие. – 2014. – № 5(80). – С. 18–21.

92. Никитина, Л.В. Трансформация форм калия в суглинистой почве при длительном применении удобрений / Л.В. Никитина // 75 лет Географической сети опытов с удобрениями: Материалы Всероссийского совещания научных учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2016. – С. 190–196.

93. Османьян, Р.Г. Рекомендации по культурному залужению междурядий на виноградниках (в соответствии с требованиями программы интегрированного ведения хозяйства) / Р.Г. Османьян // Экологическая безопасность в АПК. – 1999. – № 2. – С. 352.

94. Пасынков, А.В. Агрохимические закономерности формирования продуктивности и качества зерновых культур: автореферат диссертации / Пасынков А.В. – Москва, 2004. – 39 с.

95. Пасынков, А.В. Влияние возрастающих уровней минерального питания на качество различных фракций зерна озимой ржи / А.В. Пасынков, Е.Н. Пасынкова // Агрохимия. – 2023. – № 3. – С. 43–52. – DOI 10.31857/S0002188123030109.

96. Пасынков, А.В. Изменение урожайности и биохимического состава растений озимой ржи под действием средств химизации: автореферат диссертации / А.В. Пасынков. – Москва, 1994. – 20 с.

97. Пасынков, А.В. Качество зерновых культур, возделываемых на дерново-подзолистых почвах и факторы, его определяющие / А.В. Пасынков, Е.Н. Пасынкова // Инновационные технологии адаптивно-ландшафтном земледелии: сборник докладов Международной научно-практической конференции. – Суздаль: ПресСто, 2015. – С. 105–110.

98. Пасынкова, Е.Н. Эффективность минеральных удобрений и азотных подкормок в период вегетации нового сорта озимого тритикале / Е.Н. Пасынкова, Л.П. Бекиш, А.В. Пасынков // Агрохимия. – 2025. – № 6. – С. 26–34.

99. Пашковская, А.А. Эффективность применения минеральных удобрений и препарата тур под озимую рожь / А.А. Пашковская // Проблемы энергообеспечения, автоматизации, информатизации и природопользования в АПК: Сборник материалов международной научно-технической конференции. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2024. – С. 148–152.

100. Перегонцева, А.А. Урожайность, качество и выход спирта в зависимости от доз азотных удобрений / А.А. Перегонцева, М.И. Перепичай // – 2017. – Т. 2, № 1(9). – С. 184–187.

101. Пестряков, В.К. Почвы Ленинградской области / В.К. Пестряков. – Ленинград: «Лениздат», 1973. – 343 с.

102. Петров, В.Г. Подвижность нитрат-ионов в дерново-подзолистой почве / В.Г. Петров, Д.А. Ханнанов, М.А. Шумилова // Химическая физика и мезоскопия. – 2020. – Т. 22. – № 1. – С. 94–98.

103. Петрович, Э.А. Ржаное поле Беларуси: тенденции и перспективы развития / Э.А. Петрович // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 4. – С. 160–164.

104. Пинаева, М.И. Влияние органических и минеральных удобрений на содержание углерода органического вещества дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы / М.И. Пинаева, Ю.А. Акманаева // Пермский аграрный вестник. – 2022. – № 1(37). – С. 68–74. – DOI 10.47737/2307-2873_2022_37_68.

105. Пирязева, Е.А. Пораженность грубых кормов токсинообразующими грибами рода Fusarium / Е.А. Пирязева, Г.П. Кононенко, А.А. Буркин // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51, № 6. – С. 937–945. – DOI 10.15389/agrobiology.2016.6.937rus.

106. Поморцев, А.В. Физиологические и биохимические процессы, определяющие зимостойкость озимых зерновых культур в условиях Восточной Сибири: автореферат диссертации / А.В. Поморцев. – Иркутск, 2013. – 22 с.

107. Попов, Ф.А. Влияние длительного применения минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимой ржи / Ф.А. Попов, В.Д. Абашев, Е.Н. Носкова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2020. – Т. 21. – № 5. – С. 561–570. – DOI 10.30766/2072-9081.2020.21.5.561-570.

108. Потапова, Г.Н. Озимая рожь и тритикале – источник раннего зеленого корма на Урале / Г.Н. Потапова, Н.Л. Зобнина // Селекция и семеноводство в растениеводстве: сборник материалов международной научно-практической конференции «Стратегические задачи по научно-технологическому развитию АПК». – Екатеринбург: Уральское аграрное издательство, 2018. – С. 69–77.

109. Приходько, Д.В. Исследование антимикробных и антиоксидантных свойств гидролизатов растительного белка / Д.В. Приходько, А.А. Красноштанова // Современные достижения биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты. Инновационные биотехнологии природных и синтетических биологически активных веществ. Нарочанские чтения-16: Материалы IX Международной научно-практической конференции. – Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2024. – С. 287–291.

110. Прокошев, В.В. Известкование дерново-подзолистых почв как фактор эффективности калийных удобрений: автореферат диссертации / В.В. Прокошев. – Москва, 1962. – 22 с.

111. Пугач, Н.Г. Селекция сортов озимой ржи, адаптированных для нечерноземной зоны России / Н.Г. Пугач, Г.С. Попова, Г.И. Попов, Л.С. Грачева // Пути повышения урожайности и качества сельскохозяйственных культур на Северо-Западе России: сборник трудов. – СПб, 2000. С. 93–98.

112. Решетникова, Н.Г. Агрономическая эффективность ресурсосберегающей технологии обработки почвы в сочетании с комплексной химизацией в посевах озимой ржи: автореферат диссертации / Н.Г. Решетникова. – Москва, 1993. – 24 с.

113. Романова, И.Н. Урожайность, качество и выход спирта в зависимости от доз азотных удобрений / И.Н. Романова, С.Е. Терентьев, М.И. Перепичай, В.В. Дышко // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 30-летию филиала кафедры растениеводства ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА в СХПК, 2014 г. – Колхоз имени Мичурина Вавожского района Удмуртской Республики, 2014 г. – С. 149–152.

114. Рубанюк, Е.А. Особенности обмена веществ у озимой ржи и пшеницы в связи с их различной зимостойкостью: автореферат диссертации / Е.А. Рубанюк. – Киев, 1966. – 25 с.

115. Рысев, М.Н. Закономерности действия удобрений под озимую рожь на дерново-подзолистых почвах / М.Н. Рысев, Е.С. Волкова, Е.Н. Федотова, М.В. Дятлова // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. − 2018. − № 4. − С. 18–25.

116. Савиных, П.А. Разработка и исследования установки для получения патоки из зерна злаковых культур / П.А. Савиных, В.А. Казаков // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Материалы XVII Международной научно-практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение». – Киров: Вятский государственный агротехнологический университет, 2024. – С. 98–103.

117. Скороходов, В.Ю. Биологический фактор воспроизводства гумуса и поддержания плодородия почвы в условиях степной зоны Южного Урала / В. Ю. Скороходов // Плодородие. – 2021. – № 2(119). – С. 55–59. – DOI 10.25680/S19948603.2021.119.15.

118. Скрябин, В.А. Рожь – природный источник альбуминов и глобулинов, стимулирующих иммунитет / В.А. Скрябин, И.А. Сабоиев, А.П. Чиркин, Н.А. Носенко // Хлебопродукты. – 2022. – № 2. – С. 49–54. – DOI 10.32462/0235-2508-2022-31-2-49-54.

119. Семенов, В.М. Образование экстра-азота в удобренных почвах и его роль в питании растений / В.М. Семенов // Агрохимия. – 1999. – № 8. – С. 5–12.

120. Соколов, О.А. Методология оценки азотного питания сельскохозяйственных культур / О.А. Соколов, В.М. Семенов // Агрохимия. – 1994. – № 9. – С. 137–149.

121. Соколова, Л.Г. Влияние предпосевного внесения азотных удобрений на осенний рост и перезимовку озимых культур / Л.Г. Соколова, С.Ю. Зорина, А.В. Поморцев [и др.] // Современное состояние и перспективы инновационного развития обработки почвы в Восточной Сибири: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 90-летию памяти научной школы по проблеме обработки почвы в Восточной Сибири к. с.-х. н. профессора Александра Георгиевича Белых. – Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2019. – С. 80–85.

122. Сологуб, Р.М. Использование ржи в кормлении дойных коров / Р.М. Сологуб // Студенты - науке и практике АПК: Материалы 109-й Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов. – Витебск: Витебская государственная академия ветеринарной медицины, 2024. – С. 122.

123. Сорокина, О.А. Урожайность и качество озимой ржи при регулировании питания азотными подкормками / Сорокина О.А. // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 7. С. 3–10.

124. Суров, В.В. Продуктивность озимой ржи на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при применении удобрений и микробиологического

препарата / В.В. Суров, О.В. Чухина // Молочнохозяйственный вестник. – 2017. – № 4(28). – С. 93–103.

125. Сычев В.Г. Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур / В.Г. Сычев, А.А. Завалин, С.А. Шафран и др. // Москва: ВНИИА, 2011. – 115 с.

126. Таланов, И.П. Продуктивность полевых культур в системе обработки почвы при биологизации севооборотов / И.П. Таланов, М.Р. Ахметзянов // Плодородие. – 2020. – № 3(114). – С. 47–51. – DOI 10.25680/S19948603.2020.114.15.

127. Тиунов, А.Н. Рожь. / А.Н. Тиунов, К.А. Глухих. – Москва: Колос, 1972. – 352 с.

128. Турко, С.Ю. Основные культуры-освоители на зональных почвах и особенности их возделывания / С.Ю. Турко // Синтез науки и образования в решении экологических проблем современности–2024: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню охраны окружающей среды. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 163–167. – DOI 10.58168/SYNTHESIS2024_163-167.

129. Турусов, В.И. Влияние применения минеральных удобрений и агрохимикатов на содержание элементов питания в растениях озимой пшеницы / В.И. Турусов, Л.А. Пискарева, Е.Г. Бочарникова // Итоги и перспективы развития агропромышленного комплекса: Сборник материалов Международной научно-практической конференции. – С. Соленое Займище: ФГБНУ "Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук", 2020. – С. 353–355. – DOI 10.26150/PAFNC.2019.45.557-21-353-355.

130. Усова, К.А. Влияние азотных подкормок на продуктивность озимой ржи в Вологодской области / К.А. Усова, О.В. Чухина, С.Н. Дурягина [и др.] // Фундаментальные исследования по созданию новых средств химизации и наследие академика Д.Н. Прянишникова: Тезисы докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 150-летнему юбилею академика Д.Н.

Прянишникова. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2015. – С. 358–362.

131. Харкевич, Л.П. Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на урожайность и химический состав зерна озимой ржи / Л.П. Харкевич, И.Н. Белоус, В.Б. Коренев // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: Материалы XII международной научной конференции. – Брянск: Брянский ГАУ, 2015. – С. 313–316.

132. Цехомский, А.В. Роль злаковых в обеспечении рациона макро- и микронутриентами / А.В. Цехомский, П.В. Нефедов, Л.В. Нефедова // Санитарный врач. – 2024. – № 1. – С. 73–76. – DOI 10.33920/med-08-2401-07.

133. Цыбулька, Н.Н. Использование зерновыми культурами азота почвы и удобрений / Н.Н. Цыбулька, И.И. Жукова, Д.В. Киселева // Весці нацыянальнай акадэміі навук беларусі. Серыя аграрных навук. – 2008. – № 2. – С. 36–42.

134. Цыбулько, Н.Н. Оптимизация минерального питания озимой ржи на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве: автореферат диссертации / Н.Н. Цыбулько. – Минск, 1995. – 21 с.

135. Чайкин, В.В. Полегание озимой ржи и хлебопекарные качества / В.В. Чайкин, И.А. Пшеничная, А.А. Тороп // Земледелие. – 2013. – № 5. – С. 27–28.

136. Чухина, О.В. Влияние удобрений на продуктивность озимой ржи с целью получения продовольственного зерна в Вологодской области / О.В. Чухина, С.Н. Дурягина, О.А. Сорокина, С.А. Варзинова // Инновации и перспективы развития науки, сельского хозяйства и лесного комплекса: Сборник трудов международной научно-методической конференции. – Вологда-Молочное: Вологодская ГМА им. Н.В. Верещагина, 2016. – С. 3–9.

137. Чухина, О.В. Влияние удобрений на продуктивность культур севооборота и вынос элементов питания в Вологодской области / О.В. Чухина, Р.А. Глазов, Д.Е. Смирнов // Плодородие. – 2019. – № 1(106). – С. 22–25. – DOI 10.25680/S19948603.2019.106.07.

138. Чухина, О.В. Урожайность зерна озимой ржи, вынос культурой элементов питания при применении удобрений в Вологодской области / О.В.

Чухина, О.Д. Обряева, И.Е. Кулакова, Д.Е. Смирнов // Молочнохозяйственный вестник. – 2019. – № 2(34). – С. 62–71.

139. Чухина, О.В. Продуктивность культур севооборота, вынос элементов питания и оплата удобрений при применении их и гумата / О.В. Чухина, О.А. Власова, Л.В. Никитина // Молочнохозяйственный вестник. – 2022. – № 3(47). – С. 145–161. – DOI 10.52231/2225-4269_2021_3_145.

140. Шайкова, Т.В. Влияние минеральных и комплексных удобрений на зерновую продуктивность озимой ржи в условиях Северо-Запада России / Т.В. Шайкова, М.В. Дятлова, Е.С. Волкова // Кормопроизводство. – 2020. – № 9. – С. 19–23. – DOI 10.25685/KRM.2020.9.2020.004.

141. Шайкова, Т.В. Потребление и вынос основных элементов минерального питания озимой рожью при внесении комплексных удобрений / Т.В. Шайкова, М.В. Дятлова, Е.С. Волкова // Плодородие. – 2022. – № 6(129). – С. 3–7. – DOI 10.25680/S19948603.2022.129.01.

142. Шафран, С.А. Значение обеспеченности почв подвижным калием в повышении урожайности и эффективности азотных удобрений / С.А. Шафран // Агрохимия. – 2024. – № 3. – С. 3–13. – DOI 10.31857/S0002188124030017.

143. Шевченко, А.Т. Пребиотическии потенциал углеводов клубней топинамбура, корня лопуха, муки желудей и зерновых отрубей в отношении бифидобактерий / А.Т. Шевченко, Е.А. Смирягин, Л.Д. Горчакова [и др.] // Современные достижения биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты. Инновационные биотехнологии природных и синтетических биологически активных веществ. Нарочанские чтения–16: Материалы IX Международной научно-практической конференции. – Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2024. – С. 424–428.

144. Шишков, Д.Г. Влияние различных доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность озимой ржи в Среднем Предуралье / Д.Г. Шишков, В.Р. Олехов, М.Т. Васбиева // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2023. – Т. 24. – № 3. – С. 399–408. – DOI 10.30766/2072-9081.2023.24.3.399-408.

145. Шишков, Д.Г. Показатели качества зерна озимой ржи сорта Фаленская 4 при применении различных доз и соотношений минеральных удобрений / Д.Г. Шишков, Д.Р. Сафиуллина, В.Р. Олехов // Агротехнологии XXI века: стратегия развития, технологии, инновации: Материалы Международной конференции. – Пермь: ИПЦ Прокростъ, 2024. – С. 309–313.

146. Шпанев, А.М. Влияние предпосевного внесения полного минерального удобрения на фитосанитарное состояние посевов озимой ржи на Северо-Западе России / А.М. Шпанев, М.А. Фесенко // Вестник защиты растений. – 2019. – № 3. –С. 34–40.

147. Шпанев, А.М. Эффективность применения минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений в полевом севообороте на северо-западе РФ / А.М. Шпанев, Фесенко М.А., Смук В.В. // Агрохимия. – 2021. – № 1. – С. 12–22. – DOI: 10.31857/S0002188121010099.

148. Ягодин, Б. А. Агрохимия: учебник для студентов высш. учеб. заведений / Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков, В.И. Кобзаренко. – М.: Колос, 2002. – 584 с.

149. Якименко, В.Н. Зависимость агроэкологического состояния почвы от баланса калия в агроценозе / В.Н. Якименко, А.А. Малюга // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2014. – № 1(25). – С. 26–41.

150. Якименко, В.Н. Изменение содержания форм калия по профилю почвы при различном калийном балансе в агроценозах / В.Н. Якименко // Агрохимия. – 2007. – № 3. – С. 5–11.

151. Якименко, В.Н. Фиксация калия и магния почвой агроценоза // Агрохимия. – 2023. – № 3. – С. 3–11. – DOI: 10.31857/S0002188123030134.

152. Якутина, О.П. Поверхностный сток и миграция основных элементов питания растений в процессе снеготаяния / О.П. Якутина, А.А. Танасиенко, А.С. Чумбаев // Агрохимия. – 2009. – № 2. – С. 66–70.

153. Bedford, M.R. Mechanism of action and potential environmental benefits from the use of feed enzymes / M.R. Bedford // Animal Feed Science and Technology. – 1995. – Vol. 53. – № 2. – P. 145–155.

154. Boros, D. Chick adaptation to diets based on milling fractions of rye varying in arabinoxylans content / D. Boros, R.R. Marquardt, W. Guenter // Animal Feed Science and Technology. – 2002. – Vol. 101. – № 1–4. – P. 135–149.

155. Cooper, D.N. Does whole grain consumption alter gut microbiota and satiety? / D.N. Cooper, R.J. Martin, N.L. Keim // Healthcare. – 2015. – № 3. – P. 364–392. – DOI: 10.3390/healthcare3020364.

156. Everett, L.A. Winter rye cover crop with liquid manure injection reduces spring soil nitrate but not maize yield / L.A. Everett, M.L. Wilson, R.J. Pepin, J.A. Coulter // Agronomy. – 2019. – Vol. 9. – № 12. – P. 1–14.

157. Farzadfar, S. Rye cover crop improves vegetable crop nitrogen use efficiency and yield in a short season growing region / S. Farzadfar, J.D. Knight, K.A. Congreves // Canadian Journal of Plant Science. – 2021. – Vol. 101. – № 6. – P. 1014–1028.

158. Feng, L.X. Aluminum-induced secretion of both citrate and malate in rye / M.J. Feng, H. Matsumoto // Plant and Soil. – 2002. – Vol. 242. – № 2. – P. 235–243.

159. Flood, H.E. Effects of a fall rye cover crop on weeds and productivity of Phaseolus beans / H.E. Flood, M.H. Entz // Canadian Journal of Plant Science. – 2019. – Vol. 99. – № 1. – P. 22–33.

160. Haynes, R.J. Effect of Trickle Fertigation With Three Forms of Nitrogen on Soil pH, Levels of Extractable Nutrients below the Emitter and Plant Growth / R.J. Haynes, R.S Swift // Journal of Plant Science. – 1987. – № 102 (2). – P. 211–221.

161. Hommo, L.M. Resistance of Winter Cereals to Various Winter Stress Factors: Inter- and Intraspecific Variation and the Role of Cold Acclimation / L.M. Hommo // Agricultural Science In Finland. – 1996.

162. Everett, L.A. Winter rye cover crop with liquid manure injection reduces spring soil nitrate but not maize yield / L.A. Everett, M.L. Wilson, R.J. Pepin, J.A. Coulter // Agronomy. – 2019. – Vol. 9. – № 12. – P. 1–14.

163. Kim, B.Y. Aluminum tolerance in triticale, wheat and rye / B.Y. Kim, A.C. Baier, D. J. Somers // Euphytica. – 2001. – Vol. 120. – № 3. – P. 329–337.

164. Koistinen, V. M. Metabolic changes in response to varying whole-grain wheat and rye intake / V.M. Koistinen, S. Haldar, M. Tuomainen [et al.] // Science of Food. – 2024. – Vol. 8. – № 8.

165. Kuo, S. Effect of winter cover crops on soil nitrogen availability, corn yield, and nitrate leaching / S. Kuo, B. Huang, R. Bembenek // The scientific world. − 2001. − № 1 (S2). − P. 22–29.

166. Lawson, A. Influence of seeding ratio, planting date and termination date on rye-hairy vetch cover crop mixture performance under organic management / A. Lawson, C. Cogger, A. Bary // PLoS ONE. – 2015. – №10 (6). Doi:10.1371/journal.pone.0129597.

167. Malone, R.W. Harvesting fertilized rye cover crop: simulated revenue, net energy and drainage nitrogen loss / R.W. Malone, J.F. Obrycki // Agricultural & Environmental Letters. – 2018.

168. Nordin, E. An inverse association between plasma benzoxazinoid metabolites and PSA after rye intake in men with prostate cancer revealed with a new method / E. Nordin, S.K. Steffensen, B. B. Laursen // Scientific Reports. – 2022. – Vol. 12. – № 5260.

169. Phillips, H.N. Impact of grazing dairy steers on winter rye (*Secale cereale*) versus winter wheat (*Triticum aestivum*) and effects on meat quality, fatty acid and amino acid profiles, and consumer acceptability of organic beef / H.N. Phillips, B.J. Heins, K. Delate // PloS ONE. – 2017. – № 12 (11). – P. 1–18 [электронный ресурс] – URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5669429 (дата обращения: 03.12.2024). − DOI: 10.1371/journal. Pone.0187686.

170. Vos, J. Field observations on nitrogen catch crops. i. potential and actual growth and nitrogen accumulation in relation to sowing date and crop species / J. Vos, P.E.L. Van der Putten // Plant and soil. – 1997. – Vol. 195. – №2. – P. 299–309.

171. Werle, R. Cereal rye cover crop suppresses winter annual weeds / R. Werle, C. Burr, H. Blanco-Canqui // Canadian Journal of Plant Science. – 2018. – Vol. 98. – № 2. – P. 498–500.

172. www.mordorintelligence.com // Global rye market [электронный ресурс] – URL: https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/global-rye-market (дата обращения: 02.02. 2026).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

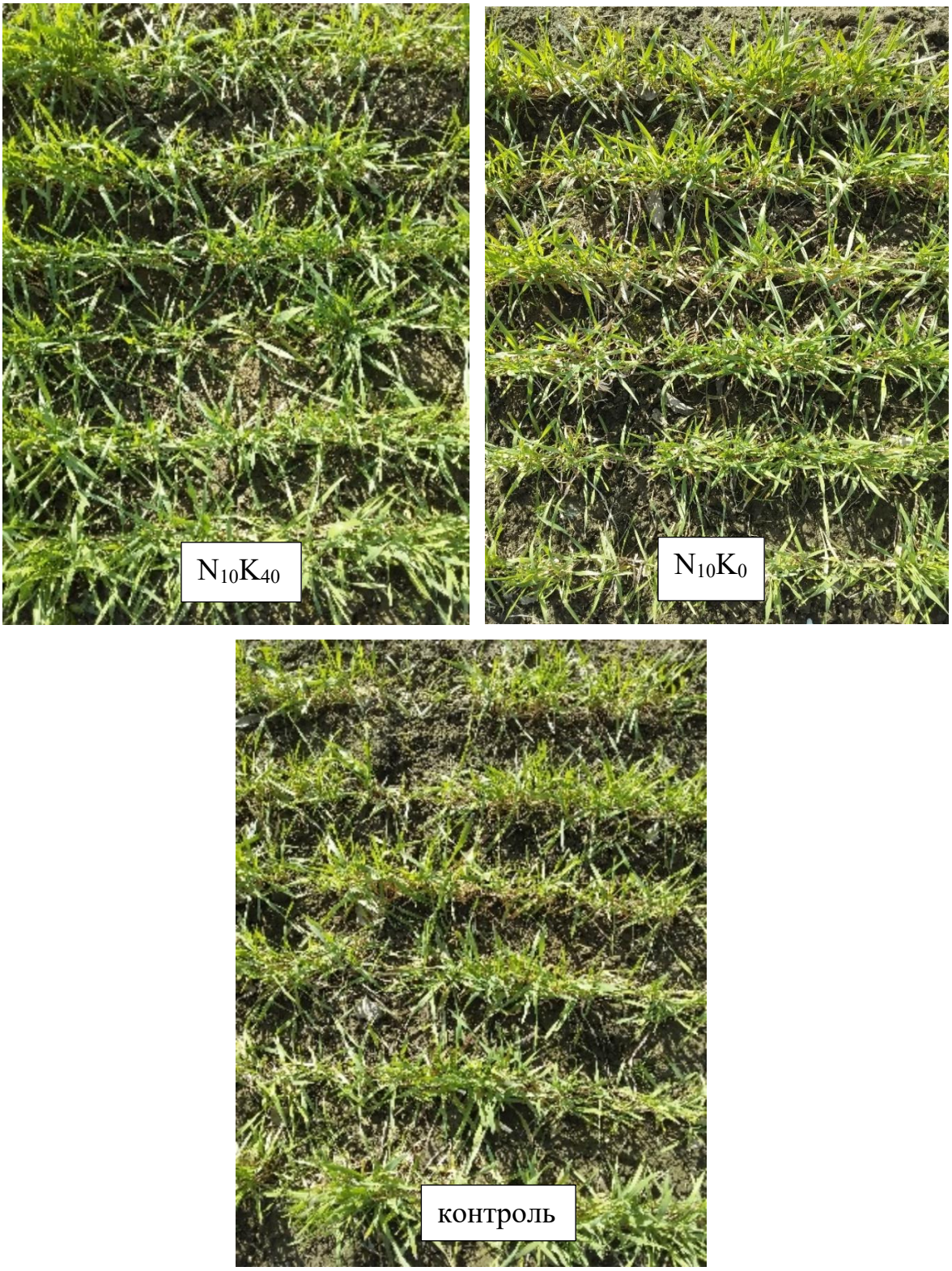


Рисунок П.1. Иллюстрация одинаковой сохранности растений озимой ржи во время перезимовки при разных вариантах осеннего применения удобрений, сорт Волхова, 29 апреля 2021 г.

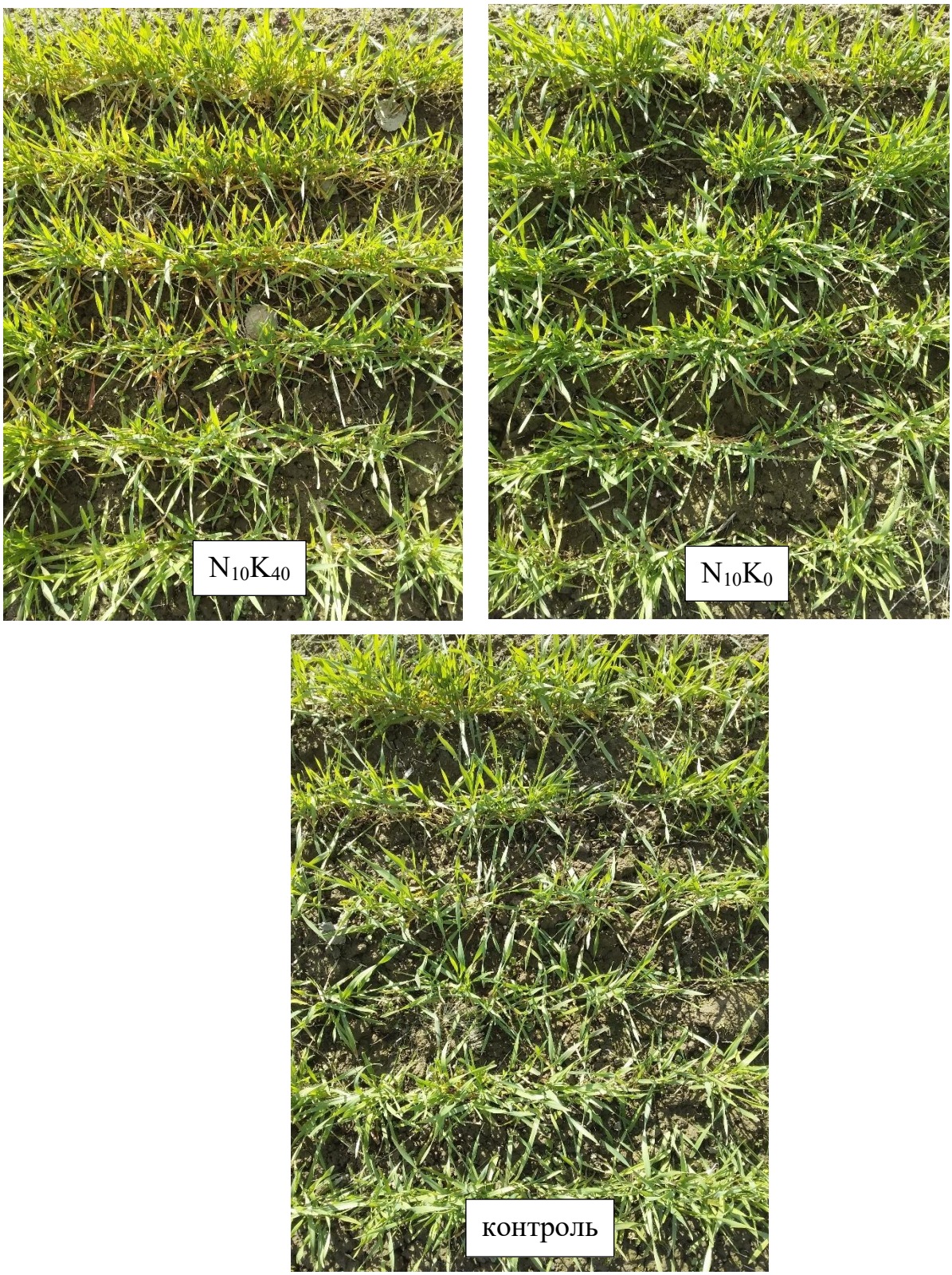


Рисунок П.2. Иллюстрация одинаковой сохранности растений озимой ржи во время перезимовки при разных вариантах осеннего применения удобрений, сорт Эврика, 29 апреля 2021

Приложение Б

Таблица П.1 – Урожайность зелёной массы озимой ржи, 2019 г.

Вариант	Волхова		Эврика	
	урожайность зелёной массы, т/га	прибавка к контролю, т/га	урожайность зелёной массы, т/га	прибавка к контролю, т/га
Контроль	1,67	-	2,50	-
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	2,49	+0,85	3,12	+0,62
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	2,41	+0,74	2,96	+0,46
$N_{30}K_0$(в)	2,44	+0,77	3,21	+0,71
$N_{30}K_{40}$(в)	2,65	+0,98	3,74	+1,24
$НСР_{0,05}$	0,15	-	0,33	-
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	2,70	+1,03	3,75	+1,25
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	2,68	+1,01	3,60	+1,10
$N_{60}K_0$(в)	2,66	+0,99	3,72	+1,22
$N_{60}K_{80}$(в)	2,88	+1,21	3,89	+1,39
$НСР_{0,05}$	0,27	-	0,40	-
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	5,79	+4,12	7,02	+4,52
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	5,52	+3,85	6,75	+4,25
$N_{90}K_0$(в)	5,70	+4,03	6,82	+4,32
$N_{90}K_{120}$(в)	5,65	+3,98	6,98	+4,48
$НСР_{0,05}$	0,55	-	0,62	-

Таблица П.2 – Урожайность зелёной массы озимой ржи, 2020 г.

Вариант	Волхова		Эврика	
	урожайность зелёной массы, т/га	прибавка к контролю, т/га	урожайность зелёной массы, т/га	прибавка к контролю, т/га
Контроль	3,29	-	2,67	-
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	4,27	+0,98	6,19	+3,52
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	4,26	+0,97	5,59	+2,92
$N_{30}K_0$(в)	6,61	+3,32	7,74	+5,07
$N_{30}K_{40}$(в)	6,50	+3,21	7,58	+4,91
$НСР_{0,05}$	0,45	-	0,79	-
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	7,67	+4,38	6,60	+3,93
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	7,45	+4,16	7,00	+4,33
$N_{60}K_0$(в)	9,91	+6,62	7,58	+4,91
$N_{60}K_{80}$(в)	9,73	+6,44	8,29	+5,62
$НСР_{0,05}$	0,41	-	0,85	-
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	6,15	+2,86	7,51	+4,84
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	8,77	+5,48	8,70	+6,03
$N_{90}K_0$(в)	8,60	+5,31	8,74	+6,07
$N_{90}K_{120}$(в)	10,53	+7,24	10,57	+7,90
$НСР_{0,05}$	0,79	-	1,00	-

Таблица П.3 – Урожайность зелёной массы озимой ржи, 2021 г.

Вариант	Волхова		Эврика	
	урожайность зелёной массы, т/га	прибавка к контролю, т/га	урожайность зелёной массы, т/га	прибавка к контролю, т/га
Контроль	3,68	-	3,57	-
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	7,98	+4,30	5,44	+1,87
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	8,15	+4,47	5,66	+2,09
$N_{30}K_0$(в)	8,12	+4,44	5,71	+2,14
$N_{30}K_{40}$(в)	7,87	+4,19	5,29	+1,72
$НСР_{0,05}$	0,63	-	0,50	-
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	7,52	+3,84	9,31	+5,74
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	7,75	+4,07	9,68	+6,11
$N_{60}K_0$(в)	7,57	+3,89	9,89	+6,32
$N_{60}K_{80}$(в)	8,18	+4,50	9,92	+6,35
$НСР_{0,05}$	0,80	-	0,86	-
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	10,57	+6,89	9,80	+6,23
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	10,03	+6,35	9,44	+5,87
$N_{90}K_0$(в)	10,09	+6,41	10,18	+6,61
$N_{90}K_{120}$(в)	10,21	+6,53	9,86	+6,29
$НСР_{0,05}$	0,81	-	1,01	-

Приложение В

Таблица П.4 – Содержание азота и калия в зелёной массе озимой ржи, 2019 г.

Вариант	Содержание азота и калия в зелёной массе, % а.с.в.			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
Контроль	1,61	2,64	1,65	2,60
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,65	2,63	1,69	2,66
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,65	2,92	1,67	2,95
$N_{30}K_0$(в)	1,60	2,60	1,70	2,70
$N_{30}K_{40}$(в)	1,63	2,91	1,71	2,94
$НСР_{0,05}$	0,12	0,18	0,15	0,21
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1,78	2,67	1,81	2,65
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1,75	3,17	1,82	3,19
$N_{60}K_0$(в)	1,83	2,59	1,75	2,58
$N_{60}K_{80}$(в)	1,79	3,20	1,83	3,25
$НСР_{0,05}$	0,15	0,27	0,14	0,23
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	1,97	2,60	2,00	2,61
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	1,97	3,34	2,05	3,28
$N_{90}K_0$(в)	2,00	2,57	1,99	2,64
$N_{90}K_{120}$(в)	2,04	3,38	1,95	3,35
$НСР_{0,05}$	0,15	0,25	0,14	0,25

Таблица П.5 – Содержание азота и калия в зелёной массе озимой ржи, 2020 г.

Вариант	Содержание азота и калия в зелёной массе, % а.с.в.			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
контроль	1,58	2,57	1,54	2,49
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,60	2,58	1,64	2,60
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,63	2,97	1,67	2,87
$N_{30}K_0$(в)	1,59	2,65	1,72	2,72
$N_{30}K_{40}$(в)	1,61	2,95	1,70	2,94
$НСР_{0,05}$	0,14	0,19	0,13	0,22
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1,85	2,70	1,76	2,60
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1,71	3,66	1,83	3,23
$N_{60}K_0$(в)	1,85	2,64	1,70	2,65
$N_{60}K_{80}$(в)	1,83	3,22	1,81	3,21
$НСР_{0,05}$	0,15	0,28	0,15	0,23
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	2,00	2,58	2,01	2,61
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	1,95	3,37	2,07	3,35
$N_{90}K_0$(в)	2,03	2,47	2,05	2,57
$N_{90}K_{120}$(в)	2,09	3,42	2,10	3,45
$НСР_{0,05}$	0,17	0,26	0,13	0,25

Таблица П.6 – Содержание азота и калия в зелёной массе озимой ржи, 2021 г.

Вариант	Содержание азота и калия в зелёной массе, % а.с.в.			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
Контроль	1,62	2,66	1,60	2,54
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,58	2,60	1,63	2,56
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,60	2,99	1,68	2,90
$N_{30}K_0$(в)	1,62	2,67	1,69	2,68
$N_{30}K_{40}$(в)	1,65	2,91	1,73	3,01
$НСР_{0,05}$	0,13	0,17	0,15	0,25
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1,80	2,65	1,80	2,65
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1,71	3,56	1,83	3,33
$N_{60}K_0$(в)	1,81	2,70	1,80	2,60
$N_{60}K_{80}$(в)	1,83	3,30	1,85	3,37
$НСР_{0,05}$	0,15	0,27	0,17	0,23
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	2,05	2,60	2,04	2,50
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	1,97	3,40	2,10	3,45
$N_{90}K_0$(в)	2,10	2,45	2,01	2,52
$N_{90}K_{120}$(в)	2,15	3,47	2,14	3,50
$НСР_{0,05}$	0,18	0,25	0,15	0,24

Таблица П. 7 – Содержание азота и калия в зерне озимой ржи, 2019 г.

Вариант	Содержание азота и калия в зерне, % а.с.в.			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
Контроль	1,83	1,50	1,82	1,40
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,84	1,54	1,84	1,50
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,81	1,57	1,85	1,53
$N_{30}K_0$(в)	1,80	1,48	1,84	1,54
$N_{30}K_{40}$(в)	1,84	1,53	1,80	1,48
$НСР_{0,05}$	0,10	0,12	0,12	0,13
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1,81	1,53	1,76	1,55
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1,79	1,55	1,79	1,49
$N_{60}K_0$(в)	1,79	1,49	1,81	1,47
$N_{60}K_{80}$(в)	1,80	1,56	1,81	1,58
$НСР_{0,05}$	0,11	0,12	0,10	0,13
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	1,75	1,51	1,71	1,55
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	1,78	1,38	1,78	1,47
$N_{90}K_0$(в)	1,78	1,46	1,79	1,61
$N_{90}K_{120}$(в)	1,77	1,47	1,78	1,62
$НСР_{0,05}$	0,11	0,14	0,11	0,15

Таблица П. 8 – Содержание азота и калия в зерне озимой ржи, 2020 г.

Вариант	Содержание азота и калия в зерне, % а.с.в.			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
Контроль	1,54	1,39	1,55	1,36
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,57	1,54	1,56	1,53
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,55	1,58	1,54	1,55
$N_{30}K_0$(в)	1,57	1,50	1,55	1,48
$N_{30}K_{40}$(в)	1,54	1,45	1,50	1,57
$НСР_{0,05}$	0,11	0,15	0,12	0,11
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1,63	1,50	1,52	1,47
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1,68	1,48	1,49	1,46
$N_{60}K_0$(в)	1,66	1,51	1,50	1,57
$N_{60}K_{80}$(в)	1,68	1,55	1,49	1,54
$НСР_{0,05}$	0,10	0,13	0,11	0,12
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	1,66	1,40	1,52	1,47
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	1,66	1,47	1,66	1,50
$N_{90}K_0$(в)	1,68	1,50	1,63	1,45
$N_{90}K_{120}$(в)	1,63	1,44	1,60	1,54
$НСР_{0,05}$	0,12	0,12	0,10	0,13

Таблица П. 9 – Содержание азота и калия в зерне озимой ржи при разных вариантах применения удобрений, 2021 г.

Вариант	Содержание азота и калия в зерне, % а.с.в.			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
Контроль	1,95	1,45	1,92	1,48
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,95	1,65	1,93	1,67
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1,91	1,71	1,90	1,72
$N_{30}K_0$(в)	1,79	1,70	1,89	1,74
$N_{30}K_{40}$(в)	1,92	1,77	1,91	1,63
$НСР_{0,05}$	0,13	0,15	0,12	0,13
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1,92	1,69	1,92	1,78
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1,93	1,72	1,94	1,77
$N_{60}K_0$(в)	1,95	1,75	1,90	1,65
$N_{60}K_{80}$(в)	1,96	1,74	1,97	1,63
$НСР_{0,05}$	0,11	0,16	0,10	0,14
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	1,95	1,66	1,90	1,77
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	1,94	1,78	1,89	1,79
$N_{90}K_0$(в)	2,03	1,75	1,87	1,65
$N_{90}K_{120}$(в)	1,97	1,79	1,92	1,63
$НСР_{0,05}$	0,12	0,14	0,10	0,16

Приложение Г

Таблица П. 10 – Вынос элементов питания озимой рожью с урожаем зелёной массы, 2019 г.

Вариант	Хозяйственный вынос с зелёной массой, кг/га			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
Контроль	22,9	37,5	35,1	55,3
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	34,9	55,7	44,8	70,5
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	33,8	59,8	42,0	74,2
$N_{30}K_0$(в)	33,2	53,9	46,4	73,7
$N_{30}K_{40}$(в)	36,7	65,5	54,4	93,5
$НСР_{0,05}$	3,0	4,5	4,0	5,7
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	40,9	61,3	57,7	84,5
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	39,9	72,2	55,7	97,6
$N_{60}K_0$(в)	41,4	58,6	55,3	81,6
$N_{60}K_{80}$(в)	43,8	78,3	60,5	107,5
$НСР_{0,05}$	3,5	5,4	5,1	8,3
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	97,0	128,0	119,3	155,7
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	92,4	152,7	117,6	168,2
$N_{90}K_0$(в)	96,9	124,5	115,4	153,0
$N_{90}K_{120}$(в)	98,0	152,3	115,7	168,8
$НСР_{0,05}$	7,9	10,3	10,7	11,8

Таблица П. 11 – Вынос элементов питания озимой рожью с урожаем зелёной массы, 2020 г.

Вариант	Хозяйственный вынос с зелёной массой, кг/га			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
Контроль	44,2	71,9	35,0	56,5
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	58,1	83,6	46,3	86,8
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	59,0	87,5	39,4	86,4
$N_{30}K_0$(в)	69,3	98,9	61,2	78,9
$N_{30}K_{40}$(в)	69,0	103,0	59,5	89,4
$НСР_{0,05}$	8,7	10,8	7,5	9,2
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	80,6	96,0	58,7	75,9
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	84,3	121,8	68,9	92,2
$N_{60}K_0$(в)	86,0	112,4	69,5	70,7
$N_{60}K_{80}$(в)	98,4	144,3	87,5	128,2
$НСР_{0,05}$	10,3	15,7	9,1	16,4
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	104,6	114,9	78,3	86,6
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	105,4	151,2	83,1	127,7
$N_{90}K_0$(в)	108,4	130,6	82,3	100,9
$N_{90}K_{120}$(в)	127,1	182,1	118,7	167,0
$НСР_{0,05}$	11,0	15,4	11,2	22,0

Таблица П. 12 – Вынос элементов питания озимой рожью с урожаем зелёной массы, 2021 г.

Вариант	Хозяйственный вынос с урожаем зеленой массы, кг/га			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
Контроль	50,7	83,2	48,6	77,1
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	67,2	96,4	65,4	98,4
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	70,8	127,1	70,8	109,5
$N_{30}K_0$(в)	71,8	104,3	72,0	100,1
$N_{30}K_{40}$(в)	70,4	114,7	67,8	105,3
$НСР_{0,05}$	9,3	15,7	7,2	12,0
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	85,1	89,4	92,4	69,7
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	82,6	154,5	100,6	134,0
$N_{60}K_0$(в)	86,5	93,7	101,3	78,6
$N_{60}K_{80}$(в)	97,2	155,4	106,0	144,2
$НСР_{0,05}$	10,9	18,0	13,9	21,1
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	124,2	133,6	119,9	98,3
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	128,0	189,9	118,5	166,8
$N_{90}K_0$(в)	120,1	110,1	123,9	108,1
$N_{90}K_{120}$(в)	126,6	191,1	129,4	183,3
$НСР_{0,05}$	16,7	20,7	15,7	23,4

Таблица П. 13 – Вынос элементов питания с урожаем зерна озимой ржи, 2019 г.

Вариант	Хозяйственный вынос с урожаем зерна, кг/га			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
Контроль	33,4	27,5	35,9	27,6
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	42,0	35,3	39,4	32,5
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	39,9	34,5	38,7	32,5
$N_{30}K_0$(в)	36,4	29,5	36,9	31,2
$N_{30}K_{40}$(в)	41,1	34,3	40,0	32,4
$НСР_{0,05}$	1,6	2,4	1,4	2,5
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	50,0	42,5	42,5	37,4
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	47,9	41,4	40,9	33,9
$N_{60}K_0$(в)	44,2	36,7	42,5	34,5
$N_{60}K_{80}$(в)	56,1	48,5	46,2	40,4
$НСР_{0,05}$	1,7	2,4	1,6	1,8
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	31,0	26,7	41,2	37,2
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	31,0	24,0	50,8	44,6
$N_{90}K_0$(в)	31,3	25,8	41,5	37,4
$N_{90}K_{120}$(в)	32,4	27,0	52,8	46,7
$НСР_{0,05}$	2,4	2,3	1,9	1,9

Таблица П. 14 – Вынос элементов питания с урожаем зерна озимой ржи, 2020 г.

Вариант	Хозяйственный вынос с урожаем зерна, кг/га			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
Контроль	29,8	26,8	38,0	33,4
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	33,8	33,1	49,5	48,0
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	29,2	29,8	41,6	41,9
$N_{30}K_0$(в)	40,9	39,2	48,6	46,5
$N_{30}K_{40}$(в)	52,2	49,2	44,8	47,0
$НСР_{0,05}$	1,9	1,5	1,6	2,3
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	48,0	44,1	56,8	54,7
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	47,6	42,0	54,4	53,2
$N_{60}K_0$(в)	48,7	44,4	58,0	61,3
$N_{60}K_{80}$(в)	62,0	57,4	56,5	56,5
$НСР_{0,05}$	1,8	1,6	1,5	2,5
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	52,0	43,6	64,7	62,7
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	45,2	40,0	58,3	52,5
$N_{90}K_0$(в)	58,0	53,2	64,0	57,0
$N_{90}K_{120}$(в)	53,4	46,3	74,0	71,1
$НСР_{0,05}$	1,7	1,5	1,4	1,8

Таблица П. 15 – Вынос элементов питания с урожаем зерна озимой ржи, 2021 г.

Вариант	Хозяйственный вынос с урожаем зерна, кг/га			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
Контроль	24,2	18,0	21,9	16,9
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	50,0	42,4	29,1	25,2
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	41,3	36,3	35,5	31,6
$N_{30}K_0$(в)	28,0	26,6	26,9	26,4
$N_{30}K_{40}$(в)	22,6	20,9	24,4	21,0
$НСР_{0,05}$	1,4	2,4	1,6	1,4
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	48,3	42,4	36,6	33,9
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	45,1	40,4	41,1	37,6
$N_{60}K_0$(в)	39,2	35,2	29,4	25,5
$N_{60}K_{80}$(в)	42,8	38,1	28,6	23,7
$НСР_{0,05}$	1,6	2,1	1,4	1,8
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	30,0	25,5	32,3	30,0
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	37,4	34,5	36,1	34,0
$N_{90}K_0$(в)	29,3	25,3	29,4	25,9
$N_{90}K_{120}$(в)	38,4	35,0	30,0	25,5
$НСР_{0,05}$	2,4	1,4	1,6	2,1

Приложение Д

Таблица П. 16 – Коэффициенты использования азота и калия из удобрений сортами озимой ржи на формирование зелёной массы, 2019 г.

Вариант	Коэффициент использования, %			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	40,0	-	30,0	-
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	40,0	55,8	20,0	47,3
$N_{30}K_0$(в)	30,0	-	40,0	-
$N_{30}K_{40}$(в)	50,0	70,0	60,0	95,5
$НСР_{0,05}$	3,0	5,9	4,1	7,5
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	30,0	-	37,7	-
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	28,3	43,4	34,3	52,9
$N_{60}K_0$(в)	30,8	-	33,7	-
$N_{60}K_{80}$(в)	34,8	51,0	42,3	65,3
$НСР_{0,05}$	3,2	4,0	3,5	5,1
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	82,3	-	93,6	-
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	77,2	95,0	92,7	95,0
$N_{90}K_0$(в)	82,2	-	89,2	-
$N_{90}K_{120}$(в)	83,4	95,0	89,6	95,0
$НСР_{0,05}$	7,4	9,0	9,1	9,4

Таблица П. 17 – Коэффициенты использования азота и калия из удобрений сортами озимой ржи на формирование зелёной массы, 2020 г.

Вариант	Коэффициент использования, %			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	50,0	-	40,0	-
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	50,0	39,0	10,0	64,8
$N_{30}K_0$(в)	80,0	-	90,0	-
$N_{30}K_{40}$(в)	80,0	77,8	80,0	82,3
$НСР_{0,05}$	5,0	5,7	5,1	6,5
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	60,7	-	39,5	-
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	66,8	62,4	46,5	44,6
$N_{60}K_0$(в)	79,7	-	67,5	-
$N_{60}K_{80}$(в)	90,3	90,5	87,5	89,6
$НСР_{0,05}$	7,4	7,8	6,5	6,7
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	67,1	-	48,1	-
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	68,0	66,1	53,4	59,3
$N_{90}K_0$(в)	81,3	-	72,6	-
$N_{90}K_{120}$(в)	92,1	91,8	93,0	92,1
$НСР_{0,05}$	7,3	7,2	7,8	7,7

Таблица П. 18 – Коэффициенты использования азота и калия из удобрений сортами озимой ржи на формирование зелёной массы, 2021 г.

Вариант	Коэффициент использования, %			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	60,0	-	60,0	-
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	70,0	95,0	70,0	75,0
$N_{30}K_0$(в)	70,0	-	75,0	-
$N_{30}K_{40}$(в)	70,0	88,8	60,0	80,5
$НСР_{0,05}$	6,5	8,1	7,0	7,5
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	57,3	-	82,0	-
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	53,2	89,1	86,7	75,1
$N_{60}K_0$(в)	59,7	-	87,8	-
$N_{60}K_{80}$(в)	67,5	90,3	95,7	83,9
$НСР_{0,05}$	6,0	8,1	8,2	7,9
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	81,7	-	83,2	-
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	85,9	88,9	84,7	78,8
$N_{90}K_0$(в)	83,1	-	85,7	-
$N_{90}K_{120}$(в)	84,3	89,9	89,8	88,5
$НСР_{0,05}$	8,2	8,3	8,5	8,5

Таблица П. 19 – Коэффициенты использования азота и калия из удобрений на формирование урожая зерна, 2019 г.

Вариант	Коэффициент использования, %			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	28,7	-	11,7	-
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	21,7	17,5	9,3	12,3
$N_{30}K_0$(в)	10,0	-	3,3	-
$N_{30}K_{40}$(в)	25,7	17,0	13,7	12,0
$НСР_{0,05}$	1,5	1,7	1,3	1,0
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	27,7	-	11,0	-
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	24,2	17,4	8,3	7,9
$N_{60}K_0$(в)	18,0	-	11,0	-
$N_{60}K_{80}$(в)	37,8	26,3	17,2	16,0
$НСР_{0,05}$	2,4	2,0	1,5	1,1
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	0,0*	-	5,9	-
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	0,0*	0,0*	16,6	14,2
$N_{90}K_0$(в)	0,0*	-	6,2	-
$N_{90}K_{120}$(в)	0,0*	0,0*	18,8	15,9
$НСР_{0,05}$	-	-	1,0	1,2
П р и м е ч а н и е: * – хозяйственный вынос азота и калия зерном в данных вариантах был ниже, чем в контроле				

Таблица П. 20 – Коэффициенты использования азота и калия из удобрений на формирование урожая зерна, 2020 г.

	Коэффициент использования, %			
	Волхова		Эврика	
Вариант	N	K_2O	N	K_2O
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	13,3	-	34,3	-
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	0,0	7,5	12,0	21,3
$N_{30}K_0$(в)	37,0	-	35,3	-
$N_{30}K_{40}$(в)	74,7	56,0	22,7	34,0
$НСР_{0,05}$	5,5	4,5	3,2	3,0
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	30,3	-	31,3	-
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	29,7	19,0	27,3	24,8
$N_{60}K_0$(в)	31,5	-	33,3	-
$N_{60}K_{80}$(в)	53,7	38,3	30,8	28,9
$НСР_{0,05}$	3,7	2,8	3,0	2,5
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	24,7	-	29,7	-
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	17,1	11,0	22,6	15,9
$N_{90}K_0$(в)	31,3	-	28,9	-
$N_{90}K_{120}$(в)	26,2	16,3	40,0	31,4
$НСР_{0,05}$	2,6	1,8	3,0	2,8

Таблица П. 21 – Коэффициенты использования азота и калия из удобрений на формирование урожая зерна, 2021 г.

Вариант	Коэффициент использования, %			
	Волхова		Эврика	
	N	K_2O	N	K_2O
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	86,0	-	24,0	-
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	57,0	45,8	45,3	36,8
$N_{30}K_0$(в)	12,7	-	16,7	-
$N_{30}K_{40}$(в)	0,5	7,3	8,3	10,3
$НСР_{0,05}$	5,5	3,8	3,5	2,7
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	40,2	-	24,5	-
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	34,8	28,0	32,0	25,9
$N_{60}K_0$(в)	25,0	-	12,5	-
$N_{60}K_{80}$(в)	31,0	25,1	11,1	8,5
$НСР_{0,05}$	3,4	2,5	2,0	2,1
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	6,4	-	11,6	-
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	14,7	13,8	15,8	14,3
$N_{90}K_0$(в)	5,7	-	8,3	-
$N_{90}K_{120}$(в)	15,8	14,2	9,0	7,2
$НСР_{0,05}$	1,5	1,6	1,3	1,5

Приложение Е

Таблица П. 22 – Баланс азота с учетом хозяйственного выноса с урожаем надземной биомассы, 2019 г.

Вариант	Волхова			Эврика		
	вынос, кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %	вынос кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %
Контроль	22,9	-22,9	-	35,1	-35,1	-
суммарная доза N_{30}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	34,9	-4,9	86	44,8	-14,8	67
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	33,8	-3,8	89	42,0	-12,0	71
$N_{30}K_0$(в)	33,2	-3,2	90	46,4	-16,4	65
$N_{30}K_{40}$(в)	36,7	-6,7	82	54,4	-24,4	55
суммарная доза N_{60}						
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	40,9	+19,1	147	57,7	+2,3	104
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	39,9	+20,1	150	55,7	+4,3	108
$N_{60}K_0$(в)	41,4	+18,6	145	55,3	+4,7	108
$N_{60}K_{80}$(в)	43,8	+16,2	137	60,5	-0,5	99
суммарная доза N_{90}						
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	97,0	-7,0	93	119,3	-29,3	75
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	92,4	-2,4	97	117,6	-27,6	77
$N_{90}K_0$(в)	96,9	-6,9	93	115,4	-25,4	78
$N_{90}K_{120}$(в)	98,0	-8,0	92	115,7	-25,7	78

Таблица П. 23 – Баланс калия с учетом хозяйственного выноса с урожаем надземной биомассы, 2019 г.

Вариант	Волхова			Эврика		
	вынос кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %	вынос, кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %
Контроль	37,5	-37,5	-	55,3	-55,3	-
суммарная доза N_{30}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	55,7	-55,7	-	70,5	-70,5	-
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	59,8	-19,8	69	74,2	-34,2	54
$N_{30}K_0$(в)	53,9	-53,9	-	73,7	-73,7	-
$N_{30}K_{40}$(в)	65,5	-25,5	61	93,5	-53,5	43
суммарная доза N_{60}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	61,3	-61,3	-	84,5	-84,5	-
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	72,2	+7,8	111	97,6	-17,6	82
$N_{60}K_0$(в)	58,6	-58,6	-	81,6	-81,6	-
$N_{60}K_{80}$(в)	78,3	+1,7	102	107,5	-27,5	74
суммарная доза N_{90}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	128,0	-128,0	-	155,7	-155,7	-
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	152,7	-32,7	79	168,2	-48,2	71
$N_{90}K_0$(в)	124,5	-124,5	-	153,0	-153,0	-
$N_{90}K_{120}$(в)	152,3	-32,3	79	168,8	-48,8	71

Таблица П. 24 – Баланс азота с учетом хозяйственного выноса с урожаем надземной биомассы, 2020 г.

Вариант	Волхова			Эврика		
	вынос, кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %	вынос кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %
Контроль	44,2	-44,2	-	35,0	-35,0	-
суммарная доза N_{30}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	58,1	-28,1	52	46,3	-16,3	65
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	59,0	-29,0	51	39,4	-9,4	76
$N_{30}K_0$(в)	69,3	-39,3	43	61,2	-31,2	49
$N_{30}K_{40}$(в)	69,0	-39,0	43	59,5	-29,5	50
суммарная доза N_{60}						
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	80,6	-20,6	74	58,7	+1,3	102
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	84,3	-24,3	71	68,9	-8,9	87
$N_{60}K_0$(в)	86,0	-26,0	70	69,5	-9,5	86
$N_{60}K_{80}$(в)	98,4	-38,4	61	87,5	-27,5	69
суммарная доза N_{90}						
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	104,6	-14,6	86	78,3	+11,7	115
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	105,4	-15,4	85	83,1	+6,9	108
$N_{90}K_0$(в)	108,4	-18,4	83	82,3	+7,7	109
$N_{90}K_{120}$(в)	127,1	-37,1	71	118,7	-28,7	76

Таблица П. 25 – Баланс калия с учетом хозяйственного выноса с урожаем надземной биомассы, 2020 г.

Вариант	Волхова			Эврика		
	вынос кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %	вынос, кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %
Контроль	71,9	-71,9	-	56,5	-56,5	-
суммарная доза N_{30}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	83,6	-83,6	-	86,8	-86,8	-
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	87,5	-47,5	46	86,4	-46,4	46
$N_{30}K_0$(в)	98,9	-98,9	-	78,9	-78,9	-
$N_{30}K_{40}$(в)	103,0	-63,0	39	89,4	-49,4	45
суммарная доза N_{60}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	96,0	-96,0	-	75,9	-75,9	-
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	121,8	-41,8	66	92,2	-12,2	87
$N_{60}K_0$(в)	112,4	-112,4	-	70,7	-70,7	-
$N_{60}K_{80}$(в)	144,3	-64,3	55	128,2	-48,2	62
суммарная доза N_{90}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	114,9	-114,9	-	86,6	-86,6	-
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	151,2	-31,2	79	127,7	-7,7	94
$N_{90}K_0$(в)	130,6	-130,6	-	100,9	-100,9	-
$N_{90}K_{120}$(в)	182,1	-62,1	66	167,0	-47	72

Таблица П. 26 – Баланс азота с учетом хозяйственного выноса с надземной биомассы, 2021 г.

Вариант	Волхова			Эврика		
	вынос, кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %	вынос кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %
Контроль	50,7	-50,7	-	48,6	-48,6	-
суммарная доза N_{30}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	67,2	-37,2	45	65,4	-35,4	46
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	70,8	-40,8	42	70,8	-40,8	42
$N_{30}K_0$(в)	71,8	-41,8	42	72,0	-42,0	42
$N_{30}K_{40}$(в)	70,4	-40,4	43	67,8	-37,8	44
суммарная доза N_{60}						
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	85,1	-25,1	71	92,4	-32,4	65
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	82,6	-22,6	73	100,6	-40,6	60
$N_{60}K_0$(в)	86,5	-26,5	69	101,3	-41,3	59
$N_{60}K_{80}$(в)	97,2	-37,2	62	106,0	-46,0	57
суммарная доза N_{90}						
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	124,2	-34,2	72	119,9	-29,9	75
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	128,0	-38,0	70	118,5	-28,5	76
$N_{90}K_0$(в)	120,1	-30,1	75	123,9	-33,9	73
$N_{90}K_{120}$(в)	126,6	-36,6	71	129,4	-39,4	70

Таблица П. 27 – Баланс калия с учетом хозяйственного выноса с урожаем надземной биомассы, 2021 г.

Вариант	Волхова			Эврика		
	Вынос кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %	вынос, кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %
Контроль	83,2	-83,2	-	77,1	-77,1	-
суммарная доза N_{30}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	96,4	-96,4	-	98,4	-98,4	-
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	127,1	-87,1	31	109,5	-69,5	37
$N_{30}K_0$(в)	104,3	-104,3	-	100,1	-100,1	-
$N_{30}K_{40}$(в)	114,7	-74,7	35	105,3	-65,3	38
суммарная доза N_{60}						
$N_{10}K_0$(ос)+ $N_{20}K_0$(в)	89,4	-89,4	-	69,7	-69,7	-
$N_{20}K_{80}$(ос)+ $N_{40}K_0$(в)	154,5	-74,5	52	134,0	-54,0	60
$N_{60}K_0$(в)	93,7	-93,7	-	78,6	-78,6	-
$N_{60}K_{80}$(в)	155,4	-75,4	51	144,2	-64,2	55
суммарная доза N_{90}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	133,6	-133,6	-	98,3	-98,3	-
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	189,9	-69,9	63	166,8	-46,8	72
$N_{90}K_0$(в)	110,1	-110,1	-	108,1	-108,1	-
$N_{90}K_{120}$(в)	191,1	-71,1	63	183,3	-63,3	65

Таблица П. 28 – Баланс азота с учетом хозяйственного выноса с урожаем зерна, 2019 г.

Вариант	Волхова			Эврика		
	вынос, кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %	вынос кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %
Контроль	33,4	-33,4	-	35,9	-35,9	-
суммарная доза N_{30}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	42,0	-12,0	71	39,4	-9,4	76
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	39,9	-9,9	75	38,7	-8,7	78
$N_{30}K_0$(в)	36,4	-6,4	82	36,9	-6,9	81
$N_{30}K_{40}$(в)	41,1	-11,1	73	40,0	-10,0	75
суммарная доза N_{60}						
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	50,0	+10,0	120	42,5	+17,5	141
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	47,9	+12,1	125	40,9	+19,1	147
$N_{60}K_0$(в)	44,2	+15,8	136	42,5	+17,5	141
$N_{60}K_{80}$(в)	56,1	+3,9	107	46,2	+13,5	130
суммарная доза N_{90}						
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	31,0	+59,0	290	41,2	+48,8	218
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	31,0	+59,0	290	50,8	+39,2	177
$N_{90}K_0$(в)	31,3	+58,7	288	41,5	+48,5	217
$N_{90}K_{120}$(в)	32,4	+57,6	278	52,8	+37,2	170

Таблица П. 29 – Баланс калия с учетом хозяйственного выноса с урожаем зерна, 2019 г.

Вариант	Волхова			Эврика		
	вынос кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %	вынос, кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %
Контроль	27,5	-27,5	-	27,6	-27,6	-
суммарная доза N_{30}						
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	35,3	-35,3	-	32,5	-32,5	-
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	39,9	+0,1	100	38,7	+1,3	103
$N_{30}K_0$(в)	29,5	-29,5	-	36,9	-36,9	-
$N_{30}K_{40}$(в)	41,1	-1,1	97	40,0	0,0	100
суммарная доза N_{60}						
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	42,5	-42,5	-	37,4	-37,4	-
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	47,9	+32,1	167	40,9	+39,1	196
$N_{60}K_0$(в)	36,7	-36,7	-	34,5	-34,5	-
$N_{60}K_{80}$(в)	56,1	+23,9	143	46,2	+33,8	173
суммарная доза N_{90}						
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	24,0	-24,0	-	37,2	-37,2	-
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	31,0	+89,0	387	50,8	+69,2	236
$N_{90}K_0$(в)	25,8	-25,8	-	37,4	-37,4	-
$N_{90}K_{120}$(в)	32,4	+87,6	370	52,8	+67,2	227

Таблица П. 30 – Баланс азота с учетом хозяйственного выноса с урожаем зерна, 2020 г.

Вариант	Волхова			Эврика		
	вынос кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %	вынос, кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %
Контроль	29,8	-29,8	-	38,0	-38,0	-
суммарная доза N_{30}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	33,8	-3,8	89	49,5	-19,5	61
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	29,2	+0,8	103	41,6	-11,6	72
$N_{30}K_0$(в)	40,9	-10,9	73	48,6	-18,6	62
$N_{30}K_{40}$(в)	52,2	-22,2	57	44,8	-14,8	67
суммарная доза N_{60}						
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	48,0	+12,0	125	56,8	+3,2	106
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	47,6	+12,4	126	54,4	+5,6	110
$N_{60}K_0$(в)	48,7	+11,3	123	58,0	+2,0	103
$N_{60}K_{80}$(в)	62,0	-2,0	97	56,5	+3,5	106
суммарная доза N_{90}						
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	52,0	+38,0	173	64,7	+25,3	139
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	45,2	+44,8	199	58,3	+31,7	154
$N_{90}K_0$(в)	58,0	+32,0	155	64,0	+26,0	141
$N_{90}K_{120}$(в)	53,4	+36,6	169	74,0	+16,0	122

Таблица П. 31 – Баланс калия с учетом хозяйственного выноса с урожаем зерна, 2020 г.

Вариант	Волхова			Эврика		
	вынос кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %	вынос кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %
контроль	26,8	-26,8	-	33,4	-33,4	-
суммарная доза N_{30}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	33,1	-33,1	-	48,0	-48,0	-
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	29,8	+10,2	134	41,9	-1,9	95
$N_{30}K_0$(в)	39,2	-39,2	-	46,5	-46,5	-
$N_{30}K_{40}$(в)	49,2	-9,2	81	47,0	-7,0	85
суммарная доза N_{60}						
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	44,1	-44,1	-	54,7	-54,7	-
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	42,0	+38,0	190	53,2	+26,8	150
$N_{60}K_0$(в)	44,4	-44,4	-	61,3	-61,3	-
$N_{60}K_{80}$(в)	57,4	+22,6	139	56,5	+23,5	142
суммарная доза N_{90}						
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	43,6	-43,6	-	62,7	-62,7	-
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	40,0	+80,0	300	52,5	+67,5	229
$N_{90}K_0$(в)	53,2	-53,2	-	57,0	-57,0	-
$N_{90}K_{120}$(в)	46,3	+73,7	259	71,1	+48,9	169

Таблица П. 32 – Баланс азота с учетом хозяйственного выноса с урожаем зерна, 2021 г.

Вариант	Волхова			Эврика		
	вынос, кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %	вынос кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %
Контроль	24,2	-24,2	-	21,9	-21,9	-
суммарная доза N_{30}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	50,0	-20,0	60	29,1	+0,9	103
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	41,3	-11,3	73	35,5	-5,5	85
$N_{30}K_0$(в)	28,0	+2,0	107	26,9	+3,1	112
$N_{30}K_{40}$(в)	22,6	+7,4	133	24,4	+5,6	123
суммарная доза N_{60}						
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	48,3	+11,7	124	36,6	+23,4	164
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	45,1	+14,9	133	41,1	+18,9	146
$N_{60}K_0$(в)	39,2	+20,8	153	29,4	+30,6	204
$N_{60}K_{80}$(в)	42,8	+17,2	140	28,6	+31,4	210
суммарная доза N_{90}						
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	30,0	+60,0	300	32,3	+57,7	279
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	37,4	+52,6	241	36,1	+53,9	249
$N_{90}K_0$(в)	29,3	+60,7	307	29,4	+60,6	306
$N_{90}K_{120}$(в)	38,4	+51,6	234	30,0	+60,0	300

Таблица П. 33 – Баланс калия с учетом хозяйственного выноса с урожаем зерна, 2021 г.

Вариант	Волхова			Эврика		
	вынос кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %	вынос кг/га	баланс, кг/га	возмещение выноса, %
Контроль	18,0	-18,0	-	16,9	-16,9	-
суммарная доза N_{30}						
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	42,4	-42,4	-	25,2	-25,2	-
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	36,3	+3,7	110	31,6	+8,4	127
$N_{30}K_0$(в)	26,6	-26,6	-	26,4	-26,4	-
$N_{30}K_{40}$(в)	20,9	+19,1	191	21,0	+19,0	190
суммарная доза N_{60}						
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	42,4	-42,4	-	33,9	-33,9	-
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	40,4	+39,6	198	37,6	+42,4	213
$N_{60}K_0$(в)	35,2	-35,2	-	25,5	-25,5	-
$N_{60}K_{80}$(в)	38,1	+41,9	210	23,7	+56,3	338
суммарная доза N_{90}						
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	25,5	-25,5	-	30,0	-30,0	-
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	34,5	+85,5	348	34,0	+86,0	353
$N_{90}K_0$(в)	25,3	-25,3	-	25,9	-25,9	-
$N_{90}K_{120}$(в)	35,0	+85,0	343	25,5	+94,5	471

Приложение Ж

Таблица П. 34 – Окупаемость минеральных удобрений при возделывании озимой ржи на зелёную массу, 2019 г.

Вариант	Волхова		Эврика	
	прибавка урожай-ности, кг/га	окупаемость удобрений, кг з.м. / кг д.в.	прибавка урожайности, кг/га	окупаемость удобрений, кг з.м. / кг д.в.
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	850	28	620	21
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	740	11	460	7
$N_{30}K_0$(в)	770	26	710	24
$N_{30}K_{40}$(в)	980	14	1240	18
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1030	17	1250	21
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1010	7	1100	8
$N_{60}K_0$(в)	990	17	1220	20
$N_{60}K_{80}$(в)	1210	9	1390	10
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	4120	46	4520	50
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	3850	18	4250	20
$N_{90}K_0$(в)	4030	45	4320	48
$N_{90}K_{120}$(в)	3980	19	4480	21

Таблица П. 35 – Окупаемость удобрений при возделывании ржи на зерно, 2019 г.

Вариант	Волхова		Эврика	
	прибавка зерна, кг/га	окупаемость, кг зерна / кг д.в.	прибавка зерна, кг/га	окупаемость, кг зерна / кг д.в.
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	390	13	188	6
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	389	6	153	2
$N_{30}K_0$(в)	135	5	48	2
$N_{30}K_{40}$(в)	437	6	216	3
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	689	11	362	6
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	893	6	306	2
$N_{60}K_0$(в)	533	9	273	4
$N_{60}K_{80}$(в)	1359	10	638	5
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	-	-	384	4
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	-	-	1071	5
$N_{90}K_0$(в)	-	-	312	3
$N_{90}K_{120}$(в)	-	-	882	4

Таблица П. 36 – Окупаемость минеральных удобрений при возделывании озимой ржи на зелёную массу, 2020 г.

Вариант	Волхова		Эврика	
	прибавка урожайности кг/га	окупаемость удобрений, кг з.м. / кг д.в.	прибавка урожай-ности, кг/га	окупаемость удобрений, кг з.м. / кг д.в.
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	980	33	3520	117
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	970	14	2920	42
$N_{30}K_0$(в)	3320	111	5070	169
$N_{30}K_{40}$(в)	3210	46	4910	70
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	4380	73	3930	65
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	4160	30	4330	31
$N_{60}K_0$(в)	6620	110	4910	82
$N_{60}K_{80}$(в)	6440	46	5620	40
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	2860	32	4840	54
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	5480	26	6030	29
$N_{90}K_0$(в)	5310	59	6070	67
$N_{90}K_{120}$(в)	7240	34	7900	38

Таблица П. 37 – Окупаемость минеральных удобрений при возделывании озимой ржи на зерно, 2020 г.

Вариант	Волхова		Эврика	
	прибавка зерна, кг/га	окупаемость, кг зерна / кг д.в.	прибавка зерна, кг/га	окупаемость, кг зерна / кг д.в.
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	188	6	570	19
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	-	-	266	4
$N_{30}K_0$(в)	539	18	578	19
$N_{30}K_{40}$(в)	1558	22	570	8
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	741	12	1065	18
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	969	7	1264	9
$N_{60}K_0$(в)	749	12	1215	20
$N_{60}K_{80}$(в)	1897	15	1292	9
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	998	11	1213	13
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	846	4	1053	5
$N_{90}K_0$(в)	1121	13	1123	12
$N_{90}K_{120}$(в)	1168	6	2247	11

Таблица П. 38 – Окупаемость минеральных удобрений при возделывании озимой ржи на зелёную массу, 2021 г.

Вариант	Волхова		Эврика	
	прибавка урожай-ности, кг/га	окупаемость удобрений, кг з.м. / кг д.в.	прибавка урожайности, кг/га	окупаемость удобрений, кг з.м. / кг д.в.
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	4300	143	1870	62
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	4470	64	2090	30
$N_{30}K_0$(в)	4440	148	2140	71
$N_{30}K_{40}$(в)	4190	60	1720	25
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	3840	64	5740	96
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	4070	29	6110	44
$N_{60}K_0$(в)	3890	65	6320	105
$N_{60}K_{80}$(в)	4500	32	6350	45
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	6890	77	6230	69
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	6350	30	5870	28
$N_{90}K_0$(в)	6410	71	6610	73
$N_{90}K_{120}$(в)	6530	31	6290	30

Таблица П. 39 – Окупаемость минеральных удобрений при возделывании озимой ржи на зерно, 2021 г.

Вариант	Волхова		Эврика	
	прибавка зерна, кг/га	окупаемость, кг зерна / кг д.в.	прибавка зерна, кг/га	окупаемость, кг зерна / кг д.в.
суммарная доза N_{30}				
$N_{10}K_0$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	1118	37	308	10
$N_{10}K_{40}$(ос)+$N_{20}K_0$(в)	941	13	741	11
$N_{30}K_0$(в)	270	9	315	11
$N_{30}K_{40}$(в)	-	-	152	2
суммарная доза N_{60}				
$N_{20}K_0$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1065	18	608	10
$N_{20}K_{80}$(ос)+$N_{40}K_0$(в)	1178	8	1050	8
$N_{60}K_0$(в)	645	11	338	6
$N_{60}K_{80}$(в)	1235	9	333	2
суммарная доза N_{90}				
$N_{30}K_0$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	248	3	465	5
$N_{30}K_{120}$(ос)+$N_{60}K_0$(в)	741	4	808	4
$N_{90}K_0$(в)	173	2	360	4
$N_{90}K_{120}$(в)	760	4	447	2