

На правах рукописи

Налиухин Алексей Николаевич

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ
УДОБРЕНИЙ ПОД ЛЁН-ДОЛГУНЕЦ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
КОМПЛЕКСА АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-
ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ НЕЧЕРНОЗЁМНОЙ ЗОНЫ РОССИИ**

Специальность 06.01.04 – агрохимия

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени доктора
сельскохозяйственных наук**

Москва – 2015

Работа выполнена в лаборатории оценки эффективности минеральных удобрений в основных природно-климатических зонах страны ФГБНУ Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии имени Д.Н. Прянишникова ФАНО России и на кафедре земледелия и агрохимии ФГБОУ ВПО Вологодской государственной молочнохозяйственной академии имени Н.В. Верещагина МСХ РФ

- Научный консультант:** доктор сельскохозяйственных наук
Шафран Станислав Аронович
- Официальные оппоненты:** **Сорокина Ольга Юрьевна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт льна», отдел земледелия, заведующая отделом;
Белопухов Сергей Леонидович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», кафедра физической и органической химии, заведующий кафедрой;
Гребенников Александр Михайлович, доктор сельскохозяйственных наук, ФГБНУ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», межинститутский отдел по изучению черноземных почв, старший научный сотрудник.
- Ведущая организация:** ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» ФАНО России

Защита диссертации состоится «__» мая 2015 года в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д.006.029.01 при ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова: 127550, Москва, ул. Прянишникова, 31а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова и на сайте: <http://vniia-pr.ru/zashita/naliuhin.htm>

Автореферат разослан «__» «_____» 2015 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять по адресу: 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а, учёному секретарю диссертационного совета.

E-mail: dissovet_vniia@mail.ru

**Ученый секретарь
диссертационного совета**

Никитина Любовь Васильевна

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и основания для исследования. Лён-долгунец – важнейшая прядильная культура многоцелевого назначения. Получаемое из него длинное льноволокно является практически единственным растительным сырьём для текстильной промышленности, которое в значительных объёмах может выращиваться в Российской Федерации. По данным ФАО STAT (2012) Россия занимает третье место по объёму производимого льноволокна – 46 тыс. тонн. Наибольший сбор волокна в 2012 году был во Франции и Белоруссии – 52,4 и 51,6 тыс. т. Крупнейшим производителем продукции льна-долгунца в мире является Китай. Согласно «Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы» предусмотрено увеличение производства льнопеньковолокна в России до 72 тыс. тонн. В то же время, средняя урожайность льна-долгунца в 2008-2013 гг. в Нечернозёмной зоне России оставалась невысокой и составляла 3,7-7,7 ц волокна/га (Ковалев, 2012; Понажев, 2013; Чекмарёв, 2013; Государственная программа развития ..., 2012; Национальный доклад ..., 2014).

Для увеличения объёмов производства льносырья необходима интенсификация технологий возделывания льна, в том числе научно обоснованного применения удобрений. Весьма необходимым является изучение влияния комплекса агрохимических свойств почвы на эффективность минеральных удобрений, обеспечивающих получение планируемой урожайности льна при наименьших затратах питательных веществ, повышении и сохранения плодородия почв (Сычёв, Шафран, 2012).

В связи с созданием селекционерами новых сортов льна-долгунца актуальной задачей является изучение их отзывчивости на применение разных видов и доз минеральных удобрений. Необходимо определить совместное влияние макро- и микроудобрений (борных и цинковых) на физико-механические и прядильные свойства льна (Жученко, Рожмина, 2009; Минеев, 2011; Тихомирова, Сорокина, 2011).

Целью исследований является изучение влияния комплекса агрохимических свойств дерново-подзолистых почв на эффективность азотных, фосфорных и калийных удобрений на льне-долгунце в Нечерноземной зоне России и выявление сортовой отзывчивости культуры на различные виды и дозы минеральных удобрений.

Задачи исследований включали:

1. Определить тесноту, форму и направления связи между комплексом агрохимических показателей дерново-подзолистых почв и эффективностью минеральных удобрений применяемых под лён-долгунец в Нечернозёмной зоне с использованием методов математического моделирования.

2. Изучить степень воздействия доз минеральных удобрений на прибавку урожайности льна-долгунца и их окупаемость в зависимости от агрохимических свойств дерново-подзолистых почв, их гранулометрического состава и вида предшественника в Северо-западном, Центральном и Приволжском федеральных округах.

3. Определить агрохимические показатели дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава и дозы минеральных удобрений, при которых достигается наибольшая урожайность льна-долгунца.

4. Выявить сортовую отзывчивость льна-долгунца на разные дозы азотного, фосфорного и калийного удобрений на урожайность и качество льноволокна в условиях Северной части Нечернозёмной зоны.

5. Изучить влияние содержания минерального азота в почве перед посевом и условий увлажнения в июне-июле на эффективность азотного удобрения при возделывании разных по срокам созревания сортов льна-долгунца на дерново-подзолистой почве Северной части Нечерноземья.

6. Определить окупаемость и вклад различных видов и доз удобрений в формирование прибавки урожайности льна-долгунца от полного минерального удобрения при различном сочетании агрохимических показателей дерново-подзолистых почв.

7. Провести экономическую оценку дифференцированного применения по агрохимическим показателям почвы дозам минеральных удобрений; установить экономическую эффективность видов и доз удобрений для разных сортов льна-долгунца в условиях Северной части Нечерноземья.

Объект исследования. Изучение отзывчивости различных по срокам созревания сортов льна-долгунца Зарянка (раннеспелый), Альфа, Дашковский (среднеспелые), Лада (позднеспелый) на условия минерального питания проводилось с 2008 по 2013 гг. в краткосрочных полевых опытах на опытном поле ФГБОУ ВПО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина».

Полевые опыты Агрохимслужбы РФ на 10-ти сортах льна-долгунца были проведены в Вологодской, Псковской, Новгородской, Тверской, Костромской, Ярославской, Смоленской, Кировской, Нижегородской областях, а также в Республике Марий-Эл в период с 1976 по 1989 гг.

Научная новизна

- Установлена связь между комплексом агрохимических свойств дерново-подзолистых почв и эффективностью азотных, фосфорных и калийных удобрений в Северо-западном, Центральном и Приволжском федеральных округах России.
- Определена окупаемость азота, фосфора и калия прибавкой урожайности льносоломы в зависимости от степени почвенной кислотности, содержания гумуса, подвижных форм фосфора и калия, доз азотных, фосфорных и калийных удобрений в Нечерноземной зоне России.
- Изучено влияние предшественников на величину прибавки урожайности льносоломы и окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая на почвах с различными агрохимическими свойствами.
- Установлена различная эффективность доз калийных удобрений, вносимых под лён-долгунец на супесчаных, легко- и среднесуглинистых почвах; определены агрохимические показатели дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава, при которых достигается максимальная урожайность и эффективность минеральных удобрений.

- Выявлена эффективность минеральных удобрений на разных сортах льна-долгунца на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в условиях Северной части Нечернозёмной зоны.
- Установлена связь между содержанием минерального азота в почве и условиями увлажнения в июне-июле на прибавку урожайности волокна разных сортов льна-долгунца от азотных удобрений, на основе которой создана соответствующая модель прогноза эффективности этих удобрений
- Определён вклад видов минеральных удобрений и доленое участие дифференцированных по агрохимическим показателям доз питательных веществ в формирование прибавки урожайности льна-долгунца на дерново-подзолистых почвах.

Практическая значимость и реализация результатов исследований.
Предлагаемые в работе подходы позволяют:

1. Определять дозы азотных, фосфорных и калийных удобрений под лён-долгунец и их окупаемость прибавкой урожайности льносоломой исходя из конкретных агрохимических показателей почвы, гранулометрического состава и вида предшественника.

2. Устанавливать величину урожайности льносоломой без внесения удобрений в зависимости от агрохимических свойств дерново-подзолистых почв для выделения полей, на которых можно получить наибольший эффект от применения минеральных удобрений в Нечерноземной зоне России.

3. Учитывать различную сортовую отзывчивость льна-долгунца на дозы питательных веществ при разработке системы удобрения на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах с высоким содержанием подвижного фосфора.

4. Определять дозы азотного удобрения под разные по срокам созревания сорта льна-долгунца, при которых достигается наибольшая прибавка урожайности льноволокна с учётом содержания минерального азота в почве перед посевом и данных долгосрочного агрометеорологического прогноза Гидрометеорологического центра России.

5. Прогнозировать экономическую эффективность применения доз минеральных удобрений под лён-долгунец, дифференцированных по агрохимическим показателям почвы.

Научные разработки нашли применение в льносеющих хозяйствах Вологодской области в рамках НИОКР, выполненных под руководством автора при поддержке Департамента сельского хозяйства и продовольственных ресурсов Вологодской области по следующим темам: «Выявить оптимальные дозы минеральных удобрений под лён-долгунец различных сроков созревания, обеспечивающих наивысшую урожайность семян и качество льноволокна» (2009); «Разработка методов оценки азотной диагностики питания льна-долгунца и эффективности внесения различных доз и соотношений азотных, фосфорных и калийных удобрений под лён-долгунец различных сроков созревания» (2010); «Разработка новых видов удобрений для льна-долгунца» (2010); «Испытание современных агротехнологий возделывания льна-долгунца при комплексном применении удобрений и средств защиты расте-

ний» (2011), «Производственное испытание сортов и агрохимических средств в интенсивных технологиях возделывания льна-долгунца в условиях Вологодской области» (2012).

Результаты исследований в 2012 г. были использованы при разработке «Рекомендаций по применению агрохимических средств в технологиях возделывания льна-долгунца» совместно с ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, ФГБУ ГЦАС «Вологодский», ФГБУ «Россельхозцентр по Вологодской области», ЗАО «Твин Трейдинг Компании», ДСХПРиТ Вологодской области.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Закономерности влияния комплекса агрохимических показателей дерново-подзолистых почв на эффективность минеральных удобрений при возделывании льна-долгунца в Нечерноземной зоне России.
2. Зависимость прибавки урожайности льносоломы от внесения дифференцированных по агрохимическим показателям и гранулометрическому составу дерново-подзолистых почв доз минеральных удобрений на льне-долгунце, с учётом вида предшественника.
3. Окупаемость и долевое участие азота, фосфора и калия в составе полного минерального удобрения в прибавке урожайности льна-долгунца в разных регионах Нечерноземья с учётом агрохимических свойств дерново-подзолистых почв.
4. Эффективность минеральных удобрений на разных сортах льна-долгунца, их влияние на технологические свойства льноволокна в зависимости от содержания минерального азота в почве (для азотных удобрений) и погодных условий вегетационного периода.
5. Экономическая эффективность применения минеральных удобрений под лён-долгунец на дерново-подзолистых почвах с различными агрохимическими показателями.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на заседаниях учёного Совета ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова в 2013 – 2014 гг., а также на заседаниях кафедры земледелия и агрохимии ФГБОУ ВПО ВГМХА им. Н.В. Верещагина в 2009-2014 гг.

Материалы, вошедшие в диссертацию, были представлены на ежегодных международных конференциях молодых учёных, аспирантов и докторантов во ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова (Москва, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014); международных научно-практических конференциях: «Вклад молодых учёных в развитие науки» (Великие Луки, 2009), «Научные достижения – льноводству» (Торжок, 2010), «Актуальные проблемы экологии, агрохимии и почвоведения в XXI веке» (Брянск, 2012), «Вавиловские чтения – 2012» (Саратов, 2012), «Достижения молодых ученых в решении проблем АПК» (Великие Луки, 2012), «Современные проблемы и перспективы развития сельского хозяйства и лесного комплекса» (Вологда, 2012), «Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы» (Санкт-Петербург, 2013), «Инновационные технологии в сельском хозяйстве и лесном комплексе: теория и практика» (Вологда, 2013).

Организация исследований и личный вклад соискателя. Автору принадлежит формулировка темы работы, разработка программы исследований, анализ литературных источников, отчётных материалов картотеки полевых опытов агрохимслужбы России, разработка и анализ моделей эффективности удобрений, формулировка выводов работы и публикации результатов.

Автор являлся руководителем НИОКР кафедры земледелия и агрохимии ФГБОУ ВПО ВГМХА им. Н.В. Верещагина по теме: «Научно-методологические основы комплексного применения средств химизации под лён-долгунец в Северной части Нечерноземной зоны Европейской части России», № гос. регистрации 01201179967.

Планирование опытов (всего 4 полевых опыта, длительностью 5 лет каждый), их проведение в 2008-2013 гг. на опытном поле ВГМХА им. Н.В. Верещагина, анализ и обобщение полученных результатов осуществлено автором лично, а также при участии ФГБУ ГЦАС «Вологодский». Часть производственных опытов проведено в рамках совместной работы с Департаментом сельского хозяйства и продовольственных ресурсов и ОАО «Буйский химический завод».

При поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере совместно с Б.Н. Старковским разработано «Комплексное минеральное удобрение для льна-долгунца».

Все полученные результаты отражены в совместных публикациях.

Публикации по теме диссертации. По материалам исследований опубликовано 41 работа, в том числе 14 - в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 1 патент на изобретение; 1 - рекомендации производству.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 7 глав, выводов и предложений производству, списка литературы, включающего 370 наименований, в том числе – 44 на иностранных языках. Работа изложена на 317 стр. печатного текста, содержит 117 таблиц, 42 рисунка, 6 приложений.

Благодарности. Автор работы выражает глубокую благодарность своему научному консультанту – д. с.-х. н. С.А. Шафрану (ВНИИ агрохимии), а также д.б.н., проф. В.Я. Тихомировой (ВНИИ льна), д.с.-х.н., проф. Л.М. Державину, д.с.-х.н., проф. Р.А. Афанасьеву, д.с.-х.н., проф. Г.Е. Мёрзлой, к. с.-х. н. В.А. Прошкину, д.б.н. В.А. Романенкову (ВНИИ агрохимии), принявших участие в формировании научного мировоззрения автора; директору Н.В. Веденеевой, гл. агрохимику Н.А. Хановой (ФГБУ ГЦАС «Вологодский») за совместное сотрудничество и практическую помощь в проведении опытов, а также моим родным и близким.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Условия и методика проведения опытов и исследований

1.1. Метеорологические условия. Территория Европейской части Нечерноземной зоны России характеризуется достаточным и устойчивым увлажнением (Научно-прикладной..., 1989). Анализ метеорологических условий в годы проведения опытов показывает, что 34% лет были избыточно влажными, 39% – влажными, 16 – слабо-засушливыми, 8% - засушливыми, и

3% лет – очень засушливыми. Таким образом, условия увлажнения были типичными для Нечернозёмной зоны России (Лосев, Журина, 2001).

Опытное поле ВГМХА им. Н.В. Верещагина», где проведены краткосрочные полевые опыты, находится в Вологодском районе Вологодской области. Период вегетации (май-август) 2008-2013 гг. характеризовался повышенным температурным фоном, среднесуточные температуры воздуха превышали среднемноголетние значения на 0,3-3,4°C. Условия увлажнения в 2008 и 2009 гг. характеризовались как влажные (ГТК>1,3), в 2010-2012 гг. – слабо-засушливые (ГТК 1,0-1,3), а в 2013 году – засушливые (ГТК 0,7).

1.2. Почвенные условия. Почвенный покров льносеющих областей Северо-западного округа на 67-74% представлен дерново-подзолистыми почвами. Около 11,7- 21,4% общей площади пахотных угодий приходится на почвы с временным избыточным переувлажнением: дерново-подзолистые глееватые и глеевые. В Центральном и Приволжском округах (северная часть) дерново-подзолистые почвы составляют около 50%, дерново-подзолистые глееватые и глеевые – 9-10%. Остальной массив пашни представлен дерново-карбонатными, дерновыми, пойменными, болотно-подзолистыми и болотными почвами (Классификация почв России, 2000).

Все опыты закладывались на дерново-подзолистых почвах и охватывали практически весь диапазон основных агрохимических показателей, которые могут встретиться в условиях производства.

Полевые опыты в 2008-2013 гг. проводили на дерново-слабоподзолистой среднесуглинистой почве, развивающейся на покровном суглинке на опытном поле ВГМХА им. Н.В. Верещагина. Почвы опытных участков характеризовались средним содержанием гумуса (по Тюрину в модификации ЦИНАО), слабокислой реакцией почвенной среды, высоким и очень высоким содержанием подвижного фосфора и средним – калия (по Кирсанову), средней величиной суммы поглощенных оснований (по Каппену - Гильковицу). Величина гидролитической кислотности (по Каппену) колебалась от 1,1 до 3,1 мг·экв/100 г почвы. Степень насыщенности основаниями – повышенная и высокая.

1.3. Методика проведения исследований. Для оценки эффективности минеральных удобрений в Нечерноземной зоне России были проанализированы полевые опыты со льном-долгунцом, проведённые Агрохимической службой РФ, а также на опытном поле ФГБОУ ВПО ВГМХА им. Н.В. Верещагина в период с 2008 по 2013 годы.

В выборку включали полевые опыты агрохимслужбы, схема которых позволяла вычленить действие азотных, фосфорных и калийных удобрений в вариантах без удобрений, при этом действие азота определялось на фоне фосфорно-калийных удобрений (РК), фосфора – на фоне азотно-калийных (НК), калия – на фоне азотно-фосфорных удобрений (NP). В качестве агрохимических показателей, по которым проводили анализ, были использованы: величина кислотности (pH_{KCl}), содержание подвижных форм фосфора и калия (по Кирсанову), гумуса (по Тюрину).

В настоящей работе проанализированы и обобщены результаты 153-х полевых опытов с азотными удобрениями, 100 - с фосфорными и 120 опытов - с калийными минеральными удобрениями, проведённых на льне-долгунце в Нечерноземной зоне Европейской части России на дерново-подзолистых почвах. Все выборки характеризуются как большие, при этом они охватывали практически весь возможный диапазон агрохимических показателей почв, который встречается в каждом выделенном регионе.

Наличие большого количества наблюдений и длинного временного ряда позволили нивелировать влияние погодных условий на эффективность удобрений. Для изучения географических особенностей действия удобрений были выделены три федеральных округа, различающиеся по почвенно-климатическим условиям: Северо-западный, Центральный и Приволжский.

Для учёта взаимосвязи в системе «почва-растение-удобрение» использовали так называемый концептуальный подход, основанный на математическом моделировании, позволяющем получить количественные статистически достоверные оценки влияния факторов системы на формирование урожайности льна-долгунца (Сычёв, Шафран, 2012).

Для выявления связи между агрохимическими свойствами почвы, дозами минеральных удобрений и величиной прибавки урожайности льна-долгунца был проведён корреляционный анализ, на основании которого устанавливали направление и форму связи между признаками, определяли её тесноту. Определение степени приближения криволинейной зависимости к прямолинейной оценивали по критерию F. При составлении прогноза эффективности удобрений были выведены уравнения регрессии отдельно по каждому фактору, по которым рассчитывался совокупный вклад факторов (с учётом их долевого участия) в формировании прибавки урожайности. Полученные данные сводили в таблицы согласно принятой в агрохимслужбе России классификации (Лакин, 1990, Кулаковская, 1990; Прошкин, 2013). Для перевода урожайности соломы льна-долгунца в волокно использовали усреднённый коэффициент равный 4,5 (Фатыхов и др., 2003).

С целью уточнения влияния минерального питания на урожайность разных сортов льна-долгунца и качество волокна на опытном поле ВГМХА им. Н.В. Верещагина в 2008-2013 гг. проведены следующие полевые опыты:

Опыт № 1. «Влияние содержания минерального азота в почве и агрометеорологических условий на эффективность азотного удобрения при возделывании различных сортов льна-долгунца». Двухфакторный полевой опыт включал следующие варианты: сорта льна – Зарянка, Альфа и Лада (фактор А) и дозы азотного удобрения (фактор В): 1. контроль; 2. P₄₀K₉₀ (фон); 3. фон + N₁₅; 4. фон + N₃₀; 5. фон + N₄₅; 6. фон + N₆₀.

Опыт № 2. «Влияние фона минерального питания на эффективность возрастающих доз азотного удобрения при возделывании льна-долгунца». Исследования проводили в полевом двухфакторном опыте на 3-х фонах минерального питания (фактор А): 1-й фон - нулевой (без удобрений Φ₀), 2-й - P₆₀K₉₀ (Φ₁), 3-й фон - P₆₀K₉₀+Zn_{2,0}+B_{1,0} (Φ₂) при внесении на каждом из них четырёх доз азота, включая нулевую (фактор В): N₀, N₁₅, N₃₀, N₄₅.

Опыт № 3. «Влияние фосфорного удобрения на урожайность и качество волокна различных сортов льна-долгунца». Двухфакторный опыт включал следующие варианты: сорта льна – Зарянка, Альфа и Лада (фактор А) и дозы минеральных удобрений (фактор В): 1. контроль (без удобрений); 2. $N_{30}K_{90}$; 3. $N_{30}K_{90}+P_{40}$; 4. $N_{30}K_{90}+P_{60}$.

Опыт № 4. «Влияние калийного удобрения на урожайность и качество льноволокна различных сортов льна-долгунца». Полевой двухфакторный опыт включал 9 вариантов: сорта льна – Зарянка, Альфа и Лада (фактор А) и минеральные удобрения: 1. контроль; 2. $N_{30}P_{40}$; 3. $N_{30}P_{40}+K_{90}$ (фактор В).

В качестве макроудобрений во всех опытах использовали $P_{сд}$, K_x , N_{aa} , а в опыте № 2 на 3-м фоне дополнительно вносили микроудобрения: борную кислоту и сернокислый цинк. Удобрения заделывали на глубину 10-12 см ножевой бороной марки Kuose. Общая площадь делянок составляла 18 м², учётная – 10 м², которые располагали методом рендомизированных повторений; повторность – трёх-четырёхкратная. Посев осуществляли с помощью сеялки ССНП- 16. Норма высева семян льна-долгунца по всем сортам составляла 20 млн. шт. всхожих семян/га. В период вегетации в фазу «ёлочка» посевы были обработаны смесью гербицидов (Секатор, ВДГ - 0,1кг/га + Пантера, КЭ - 1,0л/га) с нормой расхода рабочего раствора 200 л/га. Предшественником льна-долгунца во все годы являлся яровой ячмень.

Способ учёта урожая - сплошной. Урожайность льносоломы приведена к 19% стандартной влажности. Технологический анализ льнотресты осуществляли в лаборатории стандартизации льносырья ВНИИ льна (город Торжок) согласно ГОСТ 24383-89 «Треста льняная. Требования при заготовках».

Для определения агрохимических свойств и питательного режима почвы с каждой делянки из пахотного горизонта почвы (0-20см) отбирали смешанные образцы, которые анализировали следующими методами: кислотность солевой вытяжки $pH_{(KCl)}$ – потенциометрически (ГОСТ 26483-85), гидролитическую кислотность – по Каппену в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91), сумму поглощённых оснований – по Каппену - Гильковицу (ГОСТ 27821-88), гумус – по методу Тюринга в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91), подвижный фосфор и калий - в вытяжке 0,2 н. HCl по Кирсанову в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91). Подвижные формы микроэлементов в почве определяли по принятым в Агрохимслужбе РФ методикам: бор – в водной вытяжке по Бергеру и Труогу в модификации ЦИНАО с азометином Н фотометрическим методом (ГОСТ Р 50688-94), цинк – в ацетатно-аммонийном буферном растворе (pH 4,8) по Крупскому и Александровой в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 50686-94) атомно-абсорбционным методом. Для определения содержания минерального азота в почве перед закладкой опыта, а также в период вегетации с каждой делянки послойно (через 20 см) отбирали почвенные образцы. Определение нитратного азота ($N-NO_3$) в образцах проводили ионометрическим методом (ГОСТ 26951-86), аммонийного ($N-NH_4$) – фотоколориметрическим (ГОСТ 26489-85). Запас $N_{мин}$ в слоях 0-20, 21-40 и 0-40 см рассчитывали в кг/га.

Содержание азота в растениях (льносоломе и семенах) определяли по методу Кьельдаля согласно ГОСТ 13496.4-93, фосфор – колориметрически (ГОСТ 26657-97), калий – на пламенном фотометре (ГОСТ 30504-97) в аккредитованной лаборатории ФГБУ ГЦАС «Вологодский».

При расчёте экономической эффективности применения минеральных удобрений под лён-долгунец руководствовались действующими методиками (Баранов и др., 1979). Статистический анализ экспериментальных данных проводили дисперсионным методом по модели двухфакторного полевого опыта.

2. Эффективность азотных удобрений на льне-долгунце в Европейской части Нечерноземной зоны России

2.1. Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистых почв на эффективность азотных удобрений. Для решения поставленной задачи в качестве исходного материала были использованы полевые опыты со льном-долгунцом, проведённые агрохимслужбой РФ. Их схема включала следующие варианты: 1. контроль; 2. P₆₀₋₉₀K₉₀₋₁₂₀ (фон); 3. фон + N₂₀; 4. фон + N₄₀; 5. фон + N₆₀; 6. фон + N₈₀.

Для того чтобы дополнительно учесть вклад биологического азота, накопленного преимущественно клеверо-тимофеечными травосмесями 2 г.п. все выборки были разбиты на группы в зависимости от вида предшественника: многолетние травы 2 г.п. и зерновые культуры.

Число сопряжённых наблюдений между агрохимическими показателями почвы и величиной прибавки урожайности льносоломы от азотных удобрений составляло: в Северо-западном округе – 251, в Центральном – 351, в Приволжском – 155 наблюдений. Изучаемые выборки охватывали практически весь возможный диапазон агрохимических показателей почв, который встречается в каждом выделенном регионе. Так содержание гумуса варьировало от 1,0-4,4%, рН_(KCl) – 3,9-7,7, подвижного фосфора – 14-378 мг/кг, калия – 13-500 мг/кг (по Кирсанову). Дозы азота колебались от 15-20 до 80 кг N/га.

Анализ корреляционных зависимостей свидетельствует, что во всех случаях связь между факторами системы имела нелинейный характер. В общем виде модель прогноза эффективности азотных удобрений на льне-долгунце состоит из 4-х факторов (x), значимых при P=0,01:

x₁ – величины обменной кислотности (рН_(KCl));

x₂ – содержание гумуса (в Северо-западном регионе при посеве льна по обоим предшественникам, а также Центральном округе после зерновых);

x₃ – содержание подвижного калия (по Кирсанову), мг/кг;

x₄ – дозы азота, кг д.в./га.

Связь между содержанием подвижного фосфора в почве и прибавкой была несущественной, поэтому данный фактор не был включён в модель.

Влияние степени кислотности почвы на эффективность азотных удобрений характеризуется как среднее по величине ($\eta = 0,48-0,61$, P=0,01%) и выражается уравнением вида параболы: $Y = ax^2 + bx + c$. При этом оптимальный диапазон рН_(KCl), при котором отмечалась наибольшая прибавка урожайности

от азотных удобрений, находился в пределах 5,3 – 5,8. (рис. 1). Достоверное влияние гумуса на эффективность азотных удобрений выявлено только в Северо-западном, а также в Центральном округах при посеве льна после зерновых культур. Увеличение содержания гумуса в почве сопровождается снижением прибавки от азотных удобрений (рис. 2).

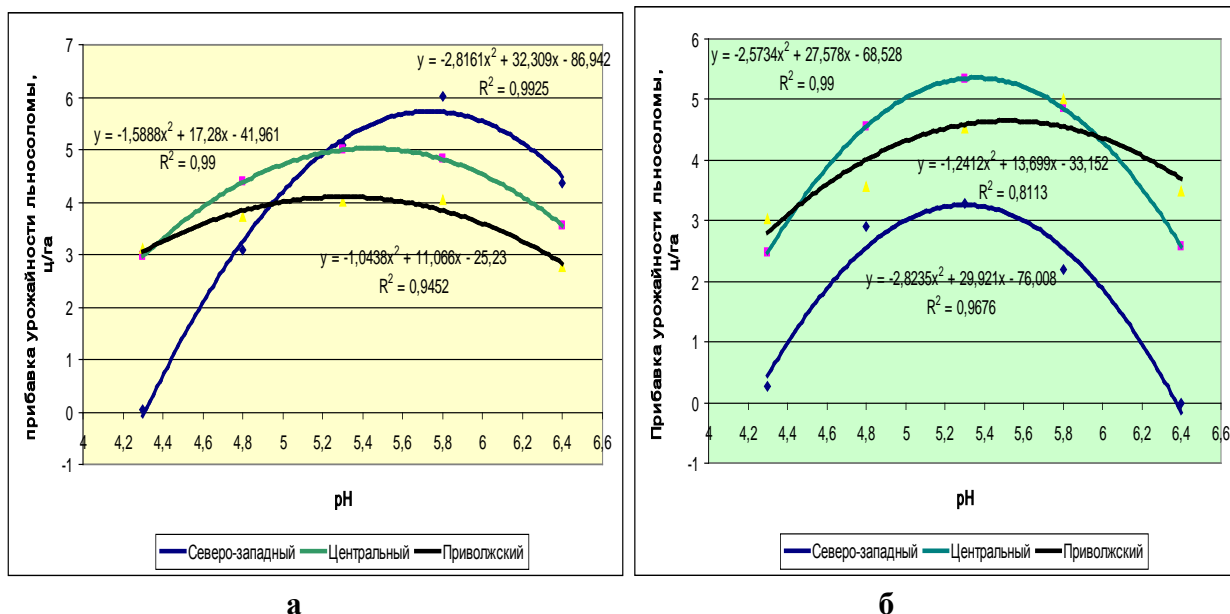


Рис 1. Прибавка урожайности льносоломы (ц/га) при применении азотных удобрений в зависимости от $pH_{(KCl)}$ (предшественник: а – зерновые, б – многолетние тра-

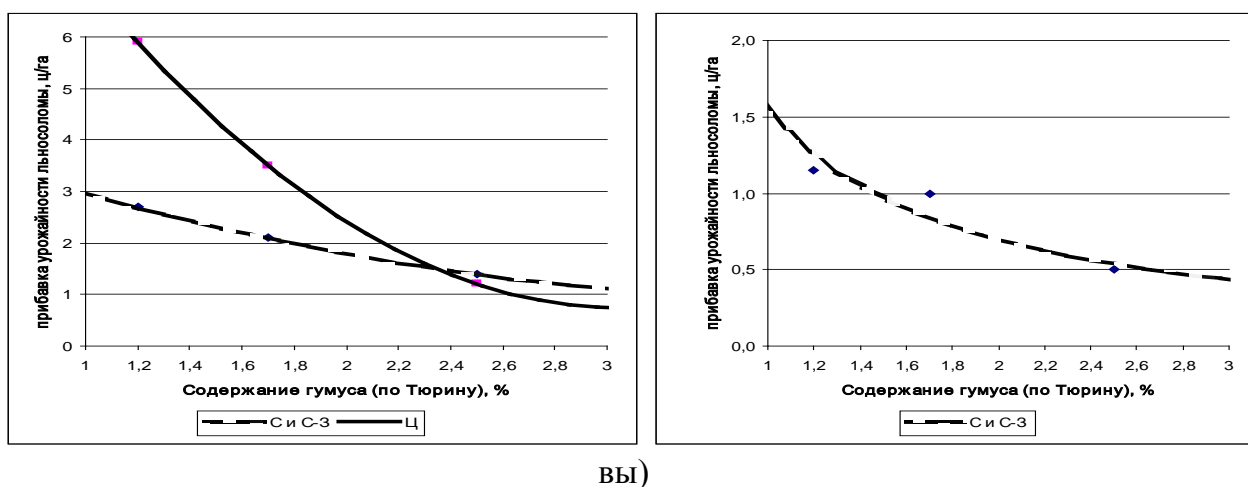


Рис 2. Прибавка урожайности льносоломы (ц/га) от азотных удобрений и содержания гумуса (по Тюрину) в почве (а – зерновые, б – многолетние травы)

Полученная зависимость достоверно ($\eta = 0,58 - 0,75$ при 1% уровне значимости) описывается уравнением вида гиперболы: $y = 4,825 + 0,00735/x$ (Северо-западный округ, предшественник – зерновые), $y = 1,64485 + 0,00873/x$ (мн. травы); $y = 4,26 + 0,17/x$ (Центральный округ, зерновые).

Изменчивость прибавки урожайности льносоломы в зависимости от содержания подвижного калия в почве проявлялась как криволинейная по форме ($\eta = 0,48-0,51$ при $P=0,01$) для всех округов (рис. 3).

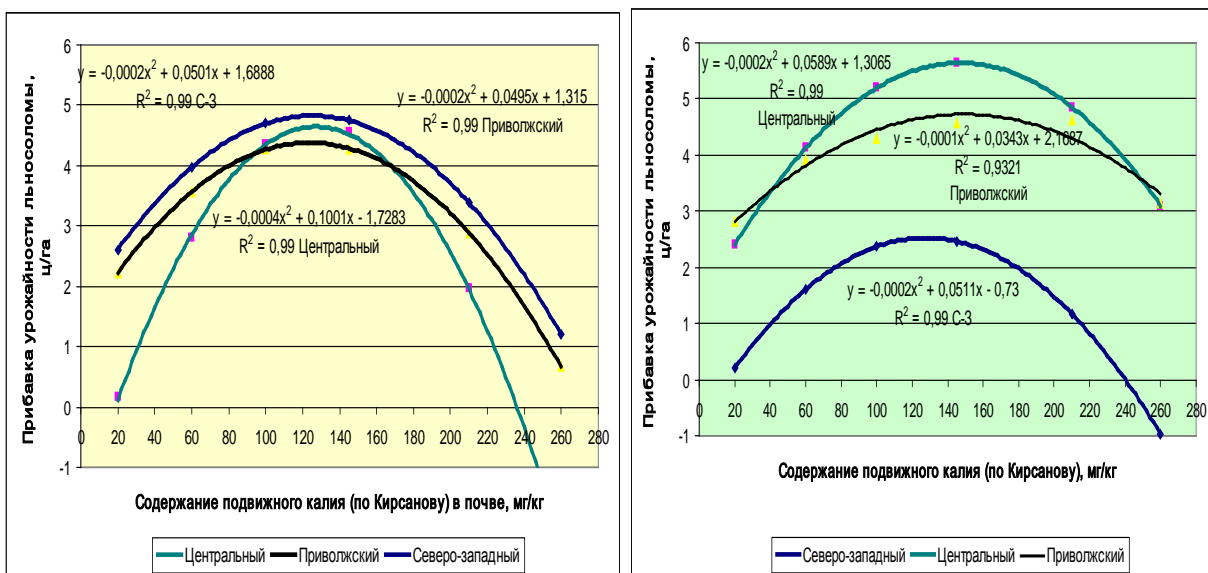


Рис 3. Прибавка урожайности льносолумы (ц/га) от азотных удобрений в зависимости от предшественника и содержания подвижного калия (по Кирсанову) в почве (а – зерновые, б – многолетние травы 2 г.п.)

При этом отмечается снижение прибавки от азотных удобрений, как при низком, так и высоком содержании подвижного калия в почве. Первое вполне объяснимо, так как лён является «калиелюбивой» культурой и с повышением содержания калия, вплоть до 120-150 мг/кг растёт урожайность, повышается прибавка льносолумы от азотных удобрений. Снижение урожайности при высокой обеспеченности почвы K_2O связано, по мнению В.Я. Тихомировой и О.Ю. Сорокиной (2007), с его антагонистическим действием на поступление Са и Mg в растения льна.

Прибавка урожайности льна-долгунца в зависимости от доз азотного удобрения носила криволинейный характер (рис. 4).

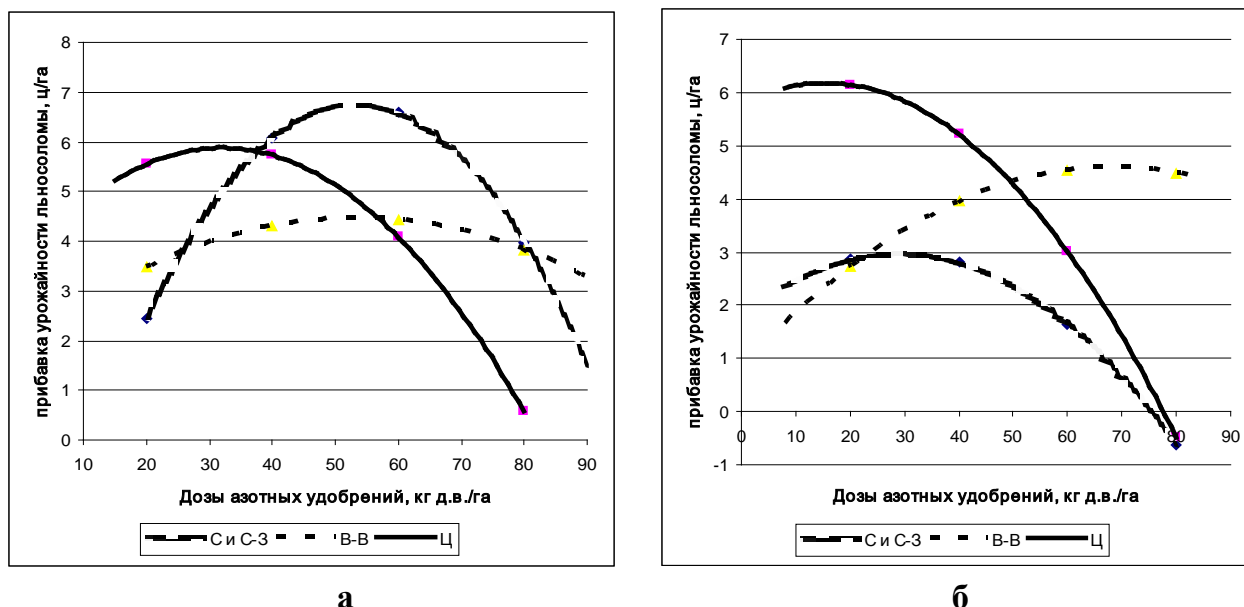


Рис 4. Влияние возрастающих доз азотных удобрений на прибавку урожайности льносолумы (ц/га) в зависимости от предшественника (а – зерновые, б – мн. травы 2 г.п.)

Наибольшие прибавки урожайности льносоломы были получены после зерновых культур, по сравнению с посевом льна по пласту многолетних трав.

В Северо-западном округе наибольший вклад в формирование прибавки урожайности льна-долгунца оказывают дозы азота (33 – 40%), содержание гумуса (25 – 36%), а также рН и содержание K_2O в почве (15–18%). При этом отчётливо выделяется разница в максимальной прибавке урожайности в данном регионе в зависимости от предшественника – 6,7 ц/га (зерновые) и 2,9 ц/га (травы). В Центральном округе прибавка урожайности существенно не зависит от предшественника и составляет 6,0 ц/га. В Приволжском округе наибольший вклад в формирование прибавки урожайности льна после распашки пласта многолетних трав приходится на величину рН и дозы азота (39 – 41%). В то же время, при посеве льна-долгунца после зерновых относительный вклад всех трёх факторов приблизительно одинаков и составляет 31- 37%.

При возделывании льна-долгунца в Северо-западном и Приволжском округах после зерновых внесение азота в дозах 0..60 кг/га способствовало повышению прибавки урожайности льносоломы. Применение N_{80} приводило к некоторому её снижению. В Центральном округе оптимальный диапазон доз азота находился в интервале 20...40 кг/га (табл. 1-4).

Таблица 1. Прогноз прибавки урожайности льна-долгунца от азотных удобрений в зависимости от предшественников в Северо-западном округе (льносоломы, ц/га)

рН	K_2O , мг/кг	гумус, %									
		<1,5					>2,0				
		дозы азота, кг д.в./га									
		б/уд.	20	40	60	80	б/уд.	20	40	60	80
предшественник - зерновые											
<5,0	<40	16,0	3,7	5,1	5,3	4,3	18,3	2,0	2,8	2,9	2,4
	81-170	22,7	4,2	5,6	5,9	4,8	25,0	2,6	3,3	3,4	2,9
	>250	23,0	3,3	4,8	5,0	3,9	25,3	1,7	2,5	2,6	2,0
5,1-6,0	<40	21,4	4,5	5,9	6,2	5,1	23,7	2,8	3,6	3,7	3,2
	81-170	28,1	5,0	6,5	6,7	5,6	30,4	3,4	4,1	4,2	3,7
	>250	28,4	4,1	5,6	5,8	4,7	30,7	2,5	3,3	3,4	2,8
>6,1	<40	20,8	4,2	5,7	5,9	4,8	23,1	2,6	3,4	3,5	2,9
	81-170	27,5	4,7	6,2	6,4	5,3	30,0	3,1	3,9	4,0	3,4
	>250	27,8	3,9	5,4	5,6	4,5	30,1	2,3	3,0	3,1	2,6
предшественник - многолетние бобово-злаковые травы 2 г.п.											
<5,0	<40	17,2	2,4	2,3	2,0	1,2	29,4	1,7	1,7	1,3	0,6
	81-170	20,1	2,8	2,8	2,4	1,6	32,4	2,1	2,1	1,7	1,0
	>250	16,9	2,1	2,1	1,7	1,0	29,2	1,5	1,5	1,1	0,3
5,1-6,0	<40	20,0	2,5	2,5	2,1	1,4	32,2	1,9	1,9	1,5	0,7
	81-170	23,0	3,0	2,9	2,5	1,8	35,2	2,3	2,3	1,9	1,1
	>250	19,7	2,3	2,3	1,9	1,1	32,0	1,6	1,6	1,2	0,5
>6,1	<40	19,4	2,1	2,1	1,7	1,0	31,6	1,5	1,5	1,1	0,3
	81-170	22,3	2,6	2,5	2,1	1,4	34,6	1,9	1,9	1,5	0,7
	>250	19,1	1,9	1,9	1,5	0,8	31,4	1,3	1,2	0,9	0,1

Таблица 2. Прогноз прибавки урожайности льносолумы от азотных удобрений в Центральном округе (предшественник - зерновые), ц/га

рН	K ₂ O, мг/кг	гумус, %									
		<1,5					1,5-2,0				
		дозы азота, кг д.в./га									
		0	20	40	60	80	0	20	40	60	80
<5,0	<40	17,1	4,5	4,6	3,8	2,0	22,0	3,8	3,9	3,1	1,3
	81-170	19,4	5,5	5,5	4,7	2,9	24,3	4,7	4,8	4,0	2,2
	>250	18,8	4,0	4,1	3,3	1,5	23,6	3,3	3,4	2,5	0,8
5,1-6,0	<40	19,6	4,8	4,9	4,0	2,3	24,5	4,0	4,1	3,3	1,5
	81-170	22,0	5,7	5,8	4,9	3,2	26,8	4,9	5,0	4,2	2,4
	>250	21,3	4,3	4,4	3,5	1,8	26,1	3,5	3,6	2,8	1,0
>6,1	<40	16,8	4,6	4,6	3,8	2,0	21,6	3,7	3,8	3,0	1,2
	81-170	19,1	5,5	5,6	4,7	2,9	23,9	4,7	4,7	3,9	2,1
	>250	18,4	4,0	4,1	3,3	1,5	23,3	3,2	3,3	2,5	0,7

Таблица 3. Прогноз прибавки урожайности льносолумы от азотных удобрений в Центральном округе (предшественник – мног. бобово-злаковые травы 2 г.п.), ц/га

рН	K ₂ O, мг/кг	дозы азота, кг д.в./га				
		0	20	40	60	80
<5,0	<40	18,9	4,4	4,1	3,1	1,6
	81-170	24,7	5,5	5,1	4,2	2,7
	>250	23,9	4,7	4,3	3,3	1,9
5,1-6,0	<40	22,2	4,9	4,5	3,6	2,1
	81-170	28,0	6,0	5,6	4,7	3,2
	>250	27,3	5,2	4,8	3,8	2,4
>6,1	<40	21,9	4,2	3,8	2,8	1,3
	81-170	27,7	5,2	4,8	3,9	2,4
	>250	26,9	4,4	4,0	3,1	1,6

Наибольшая эффективность азотных удобрений наблюдается при слабощелочной и близкой к нейтральной реакции среды (рН_(KCl) 5,1-6,0) и средней или повышенной обеспеченности калием (81-170 мг/кг). Внесение N₂₀ в таких условиях обеспечивает наибольшую окупаемость азотных удобрений, которая в зависимости от содержания гумуса в почве составляет: 17-25 кг/кг – в Северо-западном округе, 25-30 кг/кг – в Центральном и 25 кг/кг – в Приволжском округах. Изменение агрохимических показателей, как в сторону увеличения, так и уменьшения снижает эффективность азотных удобрений.

В вариантах без удобрений наибольшая урожайность льна-долгунца – от 20,9-26,8 ц/га в Центральном округе, 26,2ц/га в Приволжском до 28,8-31,1 ц/га в Северо-западном округах была отмечена при рН_(KCl) 5,1-6,0 и содержании подвижного калия 81-170 мг/кг. Изменение агрохимических параметров (кислотности почвы и содержания калия) в ту или другую стороны приводило к снижению урожайности. При этом максимальная разница в урожайности за счёт оптимизации почвенного плодородия составляла 2,3 раза.

При возделывании льна-долгунца после многолетних бобово-злаковых трав улучшается азотный режим почвы и, как следствие, снижается эффективность азотных удобрений по сравнению с зерновыми предшественниками. Наиболее сильно эта тенденция проявляется в Северо-западном округе.

Таблица 4. Прогноз прибавки урожайности льносолемы от азотных удобрений в Приволжском округе (Волго-Вятском регионе Нечерноземной зоны России), ц/га

рН	K ₂ O, мг/кг	предшественник									
		зерновые					многолетние травы 2 г.п.				
		б/уд.	20	40	60	80	б/уд.	20	40	60	80
<5,0	<40	17,2	3,6	3,8	3,9	3,7	16,6	3,1	3,4	3,6	3,6
	41-80	21,2	4,3	4,6	4,6	4,4	19,9	3,3	3,7	3,8	3,8
	81-120	23,8	4,7	5,0	5,1	4,8	22,5	3,5	3,8	4,0	4,0
	121-170	25,2	4,7	5,0	5,1	4,9	24,3	3,6	4,0	4,1	4,1
	171-250	24,1	3,9	4,2	4,3	4,1	25,0	3,7	4,0	4,1	4,1
	>250	23,6	2,8	3,1	3,2	3,0	24,9	3,5	3,8	3,9	3,9
5,1-6,0	<40	18,2	3,9	4,2	4,3	4,1	19,7	3,5	3,8	3,9	3,9
	41-80	22,2	4,7	5,0	5,0	4,8	23,1	3,7	4,0	4,2	4,1
	81-120	24,9	5,1	5,4	5,4	5,2	25,6	3,9	4,2	4,3	4,3
	121-170	26,2	5,1	5,4	5,5	5,2	27,4	4,0	4,3	4,5	4,4
	171-250	25,1	4,3	4,6	4,7	4,4	28,1	4,0	4,3	4,5	4,5
	>250	24,6	3,2	3,5	3,6	3,4	28,0	3,8	4,1	4,3	4,3
>6,1	<40	17,7	3,6	3,9	4,0	3,8	18,4	3,1	3,4	3,6	3,5
	41-80	21,7	4,4	4,7	4,7	4,5	21,7	3,3	3,7	3,8	3,8
	81-120	24,4	4,8	5,1	5,1	4,9	24,3	3,5	3,8	4,0	4,0
	121-170	25,7	4,8	5,1	5,1	4,9	26,1	3,6	4,0	4,1	4,1
	171-250	24,6	4,0	4,3	4,3	4,1	26,8	3,7	4,0	4,1	4,1
	>250	24,2	2,9	3,2	3,3	3,0	26,7	3,5	3,8	3,9	3,9

Внесение азота при посеве льна после многолетних трав в дозе 20 кг д.в./га, на почвах со слабокислой реакцией среды, средней и повышенной обеспеченностью калием, давало максимальную прибавку урожайности льносолемы: 2,3-3,0 ц/га – в Северо-западном округе; 5,5-6,0 ц/га – в Центральном. В Приволжском округе в интервале доз N₂₀₋₆₀ при тех же агрохимических показателях наблюдался рост прибавки с 3,9 до 4,5 ц/га. Наибольшая окупаемость 1 кг азота, внесённого в дозе N₂₀ приростом урожайности отмечена в Центральном округе – 30 кг/кг. В Приволжском и Северо-западном она была ниже – 17,5-20,0 и 8,0-15,0 кг/кг соответственно.

2.2 Влияние содержания минерального азота в почве на эффективность азотного удобрения при возделывании различных сортов льна-долгунца. Изучение влияния содержания минерального азота на эффективность азотного удобрения проводили в полевых опытах в 2009-2013 гг. на опытном поле ВГМХА им. Н.В. Верещагина. Метеорологические условия в годы исследований колебались от влажных (ГТК =1,4) в 2009 г. до засушливых (ГТК =0,7) в 2013 г. Содержание минерального азота в почве (N_{мин}, мг/кг = N-NO₃ + N-NH₄) по годам исследований (табл. 5) изменялось в значительных пределах (V=26,4%). При этом доля N_{мин} (как нитратного, так и аммонийного) в слое 0 -20 см составляла 43-57 % (в среднем 49%) от общего его запаса в 40-сантиметровом слое. В среднем, наибольший запас N_{мин} в слое 0-40 см – 54кг/га отмечался в 2013 году, наименьший – 28,5 кг/га – в 2012 году. В остальные годы проведения опыта запас N_{мин} перед посевом льна колебался от 32,6 до 42,3 кг/га. Содержание продуктивной влаги было оптимальным для прорастания семян - 46,8...73,2 мм (в слое 0-40 см).

Таблица 5. Запас минерального азота и содержание продуктивной влаги в почве перед посевом льна-долгунца в годы проведения опыта (в среднем по вариантам)

Год	слой почвы	Содержание N _{мин} , мг/кг			Запас N _{мин} , кг/га		Содержание продуктивной влаги, мм	
		N-NO ₃	N-NH ₄	N _{мин}	в 20-см слое	в слое 0-40 см	в 20-см слое	в слое 0-40 см
2009	0-20	4,1	4,4	8,5	20,6	42,3	29,0	60,0
	20-40	4,1	4,6	8,7	21,7		31,0	
2010	0-20	4,0	4,5	8,5	20,1	41,8	26,4	52,8
	20-40	4,2	4,4	8,6	21,7		18,6	
2011	0-20	3,3	3,2	6,5	16,0	32,6	23,4	46,8
	20-40	3,2	3,5	6,7	16,6		29,5	
2012	0-20	2,9	2,2	5,1	12,0	28,5	31,1	57,4
	20-40	3,1	3,3	6,4	16,5		28,2	
2013	0-20	6,8	6,1	12,9	31,0	54,0	40,3	73,2
	20-40	5,0	4,0	9,0	23,0		22,1	

Применение N_{аа} на сорте Зарянка в дозе 15 кг д.в./га оказывало достоверное влияние на повышение урожайности всего льноволокна (табл. 6).

Таблица 6. Влияние возрастающих доз азотного удобрения на урожайность всего льноволокна различных сортов льна-долгунца, ц/га

Дозы удобрений (В)	2009	2010	2011	2012	2013	в ср. за 5 лет	прибавка, ц/га	
							к контролю	к фону
сорт Зарянка (А ₁)								
1. контроль	8,6	5,7	4,9	9,1	5,2	6,7	-	-
2. Р ₄₀ К ₉₀ (фон)	9,0	5,8	5,2	9,3	5,7	7,0	0,3	-
3. фон + N ₁₅	11,0	7,8	6,4	11,9	5,7	8,5	1,8	1,5
4. фон + N ₃₀	11,5	8,5	7,1	11,1	6,7	9,0	2,3	2,0
5. фон + N ₄₅	11,3	8,5	6,2	11,6	7,0	8,9	2,2	1,9
6. фон + N ₆₀	11,3	7,2	6,5	11,4	5,5	8,4	1,7	1,4
В ср. по сорту А ₁	10,5	7,2	6,0	10,7	6,0	8,1	-	-
сорт Альфа (А ₂)								
1. контроль	12,5	7,0	7,0	9,8	8,6	9,0	-	-
2. Р ₄₀ К ₉₀ (фон)	12,7	7,9	8,2	10,3	10,1	9,9	0,9	-
3. фон + N ₁₅	15,0	9,4	9,4	12,3	10,5	11,3	2,3	1,4
4. фон + N ₃₀	16,1	11,5	9,7	12,6	11,5	12,3	3,3	2,4
5. фон + N ₄₅	18,3	11,4	9,9	13,1	11,9	12,9	3,9	3,0
6. фон + N ₆₀	17,6	11,3	10,4	14,0	12,3	13,1	4,1	3,2
В ср. по сорту А ₂	15,4	9,8	9,1	12,0	10,8	11,4	-	-
сорт Лада (А ₃)								
1. контроль	9,1	7,6	6,0	10,4	4,2	7,4	-	-
2. Р ₄₀ К ₉₀ (фон)	10,4	8,9	6,7	10,0	5,1	8,2	0,8	-
3. фон + N ₁₅	12,7	11,9	7,7	12,6	5,4	10,0	2,6	1,8
4. фон + N ₃₀	13,8	12,0	7,9	13,0	5,8	10,5	3,1	2,3
5. фон + N ₄₅	14,4	11,3	8,0	13,3	6,2	10,7	3,3	2,5
6. фон + N ₆₀	13,7	10,6	7,0	14,2	6,2	10,4	3,0	2,2
В ср. по сорту А ₃	12,4	10,4	7,2	12,3	5,5	9,5	-	-
НСР ₀₅ ч. разл.	1,1	1,4	0,6	1,4	1,1	-	-	-
НСР ₀₅ ф. А	0,4	0,6	0,2	0,6	0,5	-	-	-
НСР ₀₅ ф. В и АВ	0,6	0,8	0,4	0,8	0,7	-	-	-

Лишь в 2013 году существенную прибавку к $P_{40}K_{90}$ оказало внесение более высокой дозы азота – 45 кг /га. Отмечается тенденция роста прибавки урожайности в интервале доз 15 ... 30 кг N/га (1,5-2,0 ц/га к фону), и некоторое её снижение при применении более высоких доз: N_{45} – N_{60} . Внесение азотного удобрения на среднеспелом сорте Альфа изменяется в зависимости от метеорологических условий и содержания $N_{мин}$ перед посевом. Так при содержании $N_{мин}$ 8,5 мг/кг в пахотном слое почвы и сравнительно равномерном выпадении осадков в 2009 – 2010-х годах наблюдается достоверный рост урожайности льноволокна при внесении азота в диапазоне 15...45 (в 2009 году) и 15...30 кг N/га в 2010 году. При низком содержании $N_{мин}$ в 2011 и 2012 годах существенное влияние на рост урожайности оказывала максимальная по азоту доза – 60 кг д.в./га. Сорт Лада обеспечивает достоверную прибавку урожайности при внесении N_{15} практически во все годы, за исключением 2013-го, когда более эффективной оказалось применение азота в дозе N_{45} .

Наибольшая прибавка урожайности льносемян (0,6 – 1,2 ц/га к фону) получена на сорте Зарянка при внесении 15-30 кг N/га (табл. 7).

Таблица 7. Влияние возрастающих доз азотного удобрения на урожайность льносемян различных сортов льна-долгунца, ц/га

Дозы удобрений (В)	2009	2010	2011	2012	2013	в ср.	прибавка, ц/га	
							к контролю	к фону
сорт Зарянка (A_1)								
1. контроль	4,5	3,6	2,0	2,7	4,8	3,5	-	-
2. $P_{40}K_{90}$ (фон)	4,6	4,1	2,1	2,9	5,1	3,8	0,3	-
3. фон + N_{15}	5,2	4,8	3,3	3,5	5,0	4,4	0,9	0,6
4. фон + N_{30}	5,8	6,0	2,9	3,8	6,4	5,0	1,5	1,2
5. фон + N_{45}	5,8	5,7	3,0	3,4	6,7	4,9	1,4	1,1
6. фон + N_{60}	5,8	6,2	2,9	3,4	5,8	4,8	1,3	1,0
В ср. по сорту A_1	5,3	5,1	2,7	3,3	5,6	4,4	-	-
сорт Альфа (A_2)								
1. контроль	4,0	2,7	2,3	2,3	3,7	3,0	-	-
2. $P_{40}K_{90}$ (фон)	4,4	2,7	2,6	2,4	3,8	3,2	0,2	-
3. фон + N_{15}	5,3	3,9	3,0	3,4	4,0	3,9	0,9	0,7
4. фон + N_{30}	5,5	4,4	3,0	3,3	4,4	4,1	1,1	0,9
5. фон + N_{45}	5,7	3,5	2,9	3,6	4,6	4,0	1,0	0,8
6. фон + N_{60}	5,7	3,5	2,9	3,3	4,7	4,0	1,0	0,8
В ср. по сорту A_2	5,1	3,5	2,8	3,1	4,2	3,7	-	-
сорт Лада (A_3)								
1. контроль	3,4	3,0	2,4	2,2	2,7	2,7	-	-
2. $P_{40}K_{90}$ (фон)	3,5	2,9	2,4	2,3	2,9	2,8	0,1	-
3. фон + N_{15}	4,4	4,1	2,8	3,4	3,4	3,6	0,9	0,8
4. фон + N_{30}	4,6	4,1	3,1	3,4	3,7	3,8	1,1	1,0
5. фон + N_{45}	5,0	3,0	3,2	3,5	3,8	3,7	1,0	0,9
6. фон + N_{60}	5,0	2,9	3,3	3,6	3,7	3,7	1,0	0,9
В ср. по сорту A_3	4,3	3,3	2,9	3,1	3,4	3,4	-	-
НСР ₀₅ ч. разл.	0,4	0,7	0,5	0,3	1,0	-	-	-
НСР ₀₅ ф. А	0,1	0,3	0,2	0,1	0,4	-	-	-
НСР ₀₅ ф. В и АВ	0,2	0,4	0,3	0,2	0,6	-	-	-

Достоверная прибавка урожайности семян у сорта Альфа отмечена в 3-х годах из 5-ти при внесении N_{15} . В 2011 и 2013-х годах статистически значимой прибавки урожайности льносемян от азотного удобрения на данном сорте не отмечено. У сорта Лада наблюдается практически одинаковая урожайность льносемян при внесении азота в различных дозах. При этом в 2013 году, также, как и у сорта Альфа, применение азотных удобрений достоверно не повлияло на семенную продуктивность, что по всей вероятности связано с повышенным содержанием $N_{мин}$ в почве (12,9 мг/кг) перед посевом.

По результатам технологического анализа льнотресты наибольший выход длинного льноволокна у раннеспелого сорта Зарянка – 18,1-18,3% от её массы наблюдался при посеве льна на фоне фосфорно-калийных удобрений и внесении минимальных доз азота – 15-30 кг/га (табл. 8).

Таблица 8. Влияние возрастающих доз азотного удобрения на содержание льноволокна (в среднем за 5 лет)

Дозы удобрений (В)	содержание волокна, %			доля длинного волокна, %	средний номер длинного льноволокна
	длинного	короткого	всего		
сорт Зарянка (A_1)					
1. контроль	16,8	10,4	27,2	61,8	10,9
2. $P_{40}K_{90}$ (фон)	18,3	8,8	27,1	67,5	11,0
3. фон + N_{15}	18,1	9,5	27,6	65,6	11,5
4. фон + N_{30}	18,3	9,2	27,5	66,5	11,6
5. фон + N_{45}	17,1	9,8	26,9	63,6	11,7
6. фон + N_{60}	17,1	8,3	25,4	67,3	11,6
В ср. по сорту A_1	17,6	9,3	27,0	65,4	11,4
сорт Альфа (A_2)					
1. контроль	20,7	9,6	30,3	68,3	11,0
2. $P_{40}K_{90}$ (фон)	19,9	11,0	30,9	64,4	10,5
3. фон + N_{15}	20,7	9,6	30,3	68,3	11,1
4. фон + N_{30}	21,0	10,2	31,2	67,3	10,9
5. фон + N_{45}	20,8	9,5	30,3	68,6	10,3
6. фон + N_{60}	20,7	9,4	30,1	68,8	11,0
В ср. по сорту A_2	20,6	9,9	30,5	67,6	10,8
сорт Лада (A_3)					
1. контроль	20,2	10,7	30,9	65,4	9,6
2. $P_{40}K_{90}$ (фон)	21,1	11,0	32,1	65,7	10,0
3. фон + N_{15}	22,2	8,8	31,0	71,6	10,0
4. фон + N_{30}	21,1	10,2	31,3	67,4	10,2
5. фон + N_{45}	20,3	10,0	30,3	67,0	9,9
6. фон + N_{60}	18,8	10,5	29,3	64,2	10,1
В ср. по сорту A_3	20,6	10,2	30,8	66,9	10,0
НСР ₀₅ ч. разл.	4,4	$F_{факт} < F_{05}$	2,7	-	1,2
НСР ₀₅ ф. А	1,8	$F_{факт} < F_{05}$	1,1	-	0,5
НСР ₀₅ ф. В и АВ	2,5	$F_{факт} < F_{05}$	1,6	-	0,7

Дальнейшее увеличение доз вносимых удобрений до 45-60 кг N/га приводит (тенденция) к снижению выхода всего льноволокна, в том числе и длинного. Выход длинного волокна у среднеспелого сорта Альфа существен-

но не изменяется с повышением доз азотных удобрений и составляет 20,7 – 21,0%, всего волокна – 30,1-31,2%. Позднеспелый сорт Лада проявляет устойчивую тенденцию к снижению содержания длинного волокна при внесении азота в дозах свыше 30 кг/га, а выход всего льноволокна на 2,0% (абс.).

При этом можно отметить отсутствие какой-либо закономерности изменения номера длинного льноволокна при внесении различных доз азотного удобрения. Изучаемые сорта, исходя из среднего №_{дв}, можно расположить в следующем убывающем порядке: Зарянка > Альфа > Лада.

В связи с появлением новых интенсивных сортов льна-долгунца селекции ВНИИ льна необходимо уточнить удельный вынос питательных веществ в расчёте на 1 т волокна, а также коэффициенты использования ими азота удобрений на фоне внесения фосфорно-калийных удобрений (табл. 9).

Таблица 9. Удельный вынос питательных веществ льном-долгунцом (с учётом побочной продукции) и коэффициенты использования азота из N_{aa} (КИУ_N) в среднем за 5 лет

Сорт	Вариант	Вынос на 1 т льново- локна, кг			Коэффициент использования азота из удобрения	
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	разност- ный*	регрессивно- разностный**
Зарянка	1. контроль	49,1	20,2	64,8	-	-
	2. P ₄₀ K ₉₀ (фон)	51,8	21,9	62,4	-	-
	3. фон + N ₁₅	54,1	18,2	72,7	65,5	46,0
	4. фон + N ₃₀	57,7	21,0	76,5	51,3	41,6
	5. фон + N ₄₅	59,3	17,8	76,1	36,7	37,1
	6. фон + N ₆₀	67,1	19,5	77,5	33,1	35,9
Альфа	1. контроль	44,3	18,2	60,9	-	-
	2. P ₄₀ K ₉₀ (фон)	43,6	18,9	63,7	-	-
	3. фон + N ₁₅	45,9	17,0	64,2	59,8	44,3
	4. фон + N ₃₀	47,1	16,5	63,9	49,6	41,1
	5. фон + N ₄₅	47,4	15,8	62,1	40,7	38,3
	6. фон + N ₆₀	48,9	14,5	62,8	35,3	36,6
Лада	1. контроль	49,4	17,8	58,2	-	-
	2. P ₄₀ K ₉₀ (фон)	42,6	17,6	57,3	-	-
	3. фон + N ₁₅	48,6	17,8	62,2	92,1	54,3
	4. фон + N ₃₀	48,4	17,7	63,8	53,0	42,1
	5. фон + N ₄₅	52,1	18,1	65,6	45,8	39,9
	6. фон + N ₆₀	54,7	18,6	69,8	36,1	36,9

* Коэффициент использования азота из N_{aa} рассчитывали по отношению к фону P₄₀K₉₀;

** Рассчитан по уравнению регрессии, определяющем зависимость между разностным и изотопным коэффициентом использования азота удобрения: $y=0,312x+25,60$. Источник: [В.Г. Сычев, О.А. Соколов, Н.Я. Шмырева, 2009. – С. 182]

С увеличением доз азота повышается вынос азота и калия и несколько уменьшается – фосфора в расчёте на 1 т льноволокна. При этом удельный вынос питательных веществ (при дозе N₃₀) раннеспелым сортом Зарянка составляет: азота – 57,7 кг, фосфора – 21,0, калия - 76,5 кг/т волокна, что на 9,3-10,6 кг; 3,3-3,5 и 10,6-12,7 кг/т больше, чем у сортов Альфа и Лада соответственно. Это обстоятельство, по всей вероятности, объясняется повышен-

ным содержанием льноволокна (31,2-31,3% от массы льнотресты) у данных сортов, - на 3,7-3,8% выше, чем у сорта Зарянка. Пониженный вынос элементов питания на 1 т льноволокна у высоковолокнистых сортов (Тверца, Лазурный и Верхневолжский), по сравнению с низковолокнистым сортом ВНИИЛ 11 отмечался и в опытах ВНИИ льна (Тихомирова, 1996). Именно поэтому, при расчёте доз минеральных удобрений необходимо обязательно учитывать сортовые особенности льна-долгунца, что во многом связано с различным содержанием волокна и, как следствие, неодинаковым удельным выносом макроэлементов в расчете на тонну льноволокна. Пренебрежение данным обстоятельством может повлечь серьёзные расхождения между планируемой и фактически полученной урожайностью льноволокна (с учётом сопутствующих условий).

При расчёте «разностного коэффициента использования» азота из удобрения мы имели в виду не фактическое его использование из удобрения, а «коэффициент эффективности потребления». Применяв линейную зависимость между величинами разностного коэффициента использования азота удобрений и изотопного, определена величина так называемого регрессивно-разностного коэффициента азота (Сычев, Соколов, Шмырева, 2009).

Коэффициент использования азота из N_{aa} находится в убывающей зависимости от доз вносимого удобрения (табл. 9). Наибольшее несоответствие между коэффициентами наблюдается в диапазоне низких доз азота: 15-30 кг д.в./га. Скорректированный разностный коэффициент даёт, на наш взгляд более реальную картину использования азота из удобрения, внесённого в данных дозах, так как позволяет дополнительно учесть величину экстра-азота, мобилизованного из почвы под действием удобрений. Так, например, KIU_N равный 92,1% при дозе N_{15} на сорте Лада после коррекции уменьшается на 37,8% и составляет 54,3%.

Другая картина наблюдается в интервале N_{45} - N_{60} . Здесь отмечается практически полное соответствие между разностным и регрессивно-разностным коэффициентом. В данном случае процент усвоения азота различными сортами находится в пределах 35,9 – 39,9% от внесённого азота удобрения. Полученные данные позволяют показать более точное усвоение азота N_{aa} различными сортами льна-долгунца.

Окупаемость 1 кг азота N_{aa} прибавкой льноволокна (кг) у изучаемых сортов льна-долгунца обратно пропорциональна их дозе (табл. 10).

Таблица 10. Окупаемость азотного удобрения прибавкой урожайности льноволокна разных сортов льна-долгунца в среднем за годы исследований, кг/кг

№ п/п	Доза азота, кг д.в./га	Окупаемость, кг/кг			Коэффициент вариации, %		
		Зарянка	Альфа	Лада	Зарянка	Альфа	Лада
1	15	10,0	9,3	12,0	66,9	52,8	63,4
2	30	6,7	8,0	7,7	33,4	43,0	53,7
3	45	4,2	6,7	5,6	38,4	53,1	50,1
4	60	2,3	5,3	3,7	64,6	35,5	72,8
В среднем по сорту		5,8	7,3	7,2	50,8	46,1	60,0

В среднем за 5 лет окупаемость азотного удобрения у сорта Зарянка при увеличении дозы азота с 15 до 60 кг/га снижается почти в 5 раз, в то время как у сортов Альфа и Лада – всего в 1,8-3,2 раза. Интенсивный сорт Альфа, имеет высокую оплату азота прибавкой льноволокна даже при сравнительно высоких дозах – 30-45 кг N/га – 8,0-6,7 кг/кг.

В наших исследованиях оптимальные дозы азота под лён-долгунец с учётом погодных условий и содержания минерального азота в почве составили: для раннеспелого сорта Зарянка и позднеспелого Лада – 15-30 кг N/га, среднеспелого Альфа – 30-45 кг N/га, что вполне согласуется с результатами ВНИИ льна и РУП «Институт льна» НАН Белоруссии.

В другом полевым двухфакторном опыте изучалась эффективность четырёх доз азота, включая нулевую: N_0 , N_{15} , N_{30} , N_{45} на 3-х фонах минерального питания (1-й фон - нулевой, 2-й - $P_{60}K_{90}$, 3-й фон - $P_{60}K_{90}+Zn_{2,0}+B_{1,0}$). По результатам исследований наибольшая урожайность волокна (10,1 ц/га) у сорта Дашковский была получена при дозе азота N_{30} на фоне внесения $P_{60}K_{90}$ совместно с борным и цинковым микроудобрениями.

Выявлено достоверное влияние фона минерального питания и доз азотного удобрения на урожайность льносемян. При этом отмечается общая для всех изучаемых фонов закономерность: значительное увеличение урожайности семян при внесении N_{15} , незначительное (в большинстве случаев – незначительное) повышение урожайности при дальнейшем увеличении дозы азота до N_{30} и некоторое снижение урожайности льносемян при внесении максимальной дозы азота (N_{45}). В среднем за 4 года наибольшая урожайность льносемян была получена на фоне применения РК-удобрений совместно с бором и цинком при внесении азота в дозах 15...30 кг/га (5,43-5,53 ц/га, что на 27-29% больше, чем без азота на данном фоне).

Наибольшая окупаемость азотного удобрения была получена на фосфорно-калийном фоне с бором и цинком при внесении N_{15} (7,3 кг волокна и 7,8 кг льносемян), наименьшая – на нулевом фоне (2,7 и 4,4 кг соответственно). Внесение В и Zn способствовало стабилизации содержания длинного льноволокна в тресте на уровне 16,0 – 17,4% и ослабляло отрицательное влияние возрастающих доз азота на данный показатель. При этом номер длинного волокна практически не изменялся, находясь в зависимости от дозы азота в пределах 11,0 – 11,3. Наилучшее качество чесаного льноволокна (с относительной разрывной нагрузкой пряжи 13,1-13,3 гс/текс) формировалось при применении фосфорно-калийных удобрений и при сочетании их с бором и цинком без внесения азота. Увеличение доз азота с 15 до 45 кг/га снижало данный показатель на 1,0-1,6 гс/текс.

2.3 Модели прогноза эффективности азотных удобрений на льне-долгунце в зависимости от содержания минерального азота в почве. В полевых опытах со льном-долгунцом, проведённых агрохимслужбой РФ, отсутствует информация о содержании минерального азота в почве, что не позволяет выявить зависимость урожайности льна и эффективности удобрений от содержания $N_{\text{мин}}$ перед посевом.

Для создания адекватной модели прогноза эффективности азотных удобрений проведён сопряжённый анализ полученных в опыте данных. Его результаты показали, что зависимость прибавки урожайности льноволокна от применения азотного удобрения в зависимости от содержания $N_{\text{мин}}$ в среднем по сортам проявляется как прямолинейная по форме, средняя по тесноте ($r = -0,56-0,61$) и существенная по значимости ($t_r > t_{05}$) с 95% -ной вероятностью. Отмечается обратно пропорциональная зависимость: с увеличением содержания минерального азота в почве прибавка урожайности от азотных удобрений снижается.

Влияние азотного удобрения на прибавку урожайности льна-долгунца в зависимости от ГТК проявляется как прямолинейная по форме и сильная по тесноте связи ($r = 0,63-0,79$). По мере улучшения условий влагообеспеченности в период интенсивного роста льна-долгунца в июне-июле прибавка от азотных удобрений повышается.

Согласно полученным данным, наиболее высокая эффективность азотного удобрения выявлена на сорте Альфа. Максимальную прибавку урожайности – 2,7-3,0 ц/га льноволокна (к фону) можно получить при дозе азота 30 – 45 кг/га во влажные годы при содержании $N_{\text{мин}}$ в слое 0-20 см < 9 мг/кг почвы. Наибольшая суммарная урожайность - 15,4 ц/га льноволокна на данном сорте достигается при внесении N_{45} в годы с ГТК = 1,3-1,6 (в июне-июле) при высоком содержании минерального азота в почве. Урожайность в контрольном и фоновом варианте за счёт повышения $N_{\text{мин}}$ с 5 до 15 мг/кг почвы увеличивается в 1,2-1,3 раза (табл. 11).

Таблица 11. Прогноз эффективности азотного удобрения на льне-долгунце сорта Альфа в зависимости от ГТК и содержания $N_{\text{мин}}$ в слое 0-20 см (льноволокна, ц/га)

ГТК июня- июля	$N_{\text{мин}}$ в слое 0-20 см, мг/кг	Урожайность, ц/га		Прибавка от азота, ц/га				Окупаемость азота, кг/кг			
		Конт- роль	$P_{40}K_{90}$ (фон)	15	30	45	60	15	30	45	60
0,7-1,0 (засуш- ливые)	<5,0	6,3	6,9	1,8	2,0	2,1	2,1	12,0	6,7	4,7	3,5
	5,1-9,0	6,5	7,7	1,6	1,8	1,9	2,0	10,7	6,0	4,2	3,3
	9,1-11,0	6,8	8,1	1,5	1,7	1,9	1,9	10,0	5,7	4,2	3,2
	>11,0	7,9	8,9	1,3	1,6	1,7	1,7	8,7	5,3	3,8	2,8
1,0-1,3 (слабо- засушли- вые)	<5,0	7,3	8,4	2,3	2,5	2,6	2,6	15,3	8,3	5,8	4,3
	5,1-9,0	7,5	9,2	2,1	2,3	2,4	2,4	14,0	7,7	5,3	4,0
	9,1-11,0	7,9	9,6	2,0	2,2	2,4	2,4	13,3	7,3	5,3	4,0
	>11,0	8,9	10,4	1,8	2,0	2,2	2,2	12,0	6,7	4,9	3,7
1,3-1,6 (влаж- ные)	<5,0	10,4	10,9	2,6	2,9	3,0	3,0	17,3	9,7	6,7	5,0
	5,1-9,0	10,6	11,7	2,5	2,7	2,8	2,8	16,7	9,0	6,2	4,7
	9,1-11,0	10,9	12,1	2,4	2,6	2,7	2,7	16,0	8,7	6,0	4,5
	>11,0	12,0	12,9	2,2	2,4	2,5	2,5	14,7	8,0	5,6	4,2

Внесение азота на сортах Зарянка и Лада свыше 30 кг/га снижает прибавку от $N_{\text{аа}}$, что резко, почти в 5 раз к N_{15} , уменьшает их окупаемость.

3. Влияние применения фосфорных удобрений на урожайность и качество льнопродукции

3.1. Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистых почв на эффективность фосфорных удобрений на льне-долгунце. Для уточнения действия фосфорных удобрений на урожайность соломы льна-долгунца было обобщено 100 опытов, проведённых Агрохимслужбой РФ. Схема опытов включала следующие варианты: 1. контроль; 2. $N_{40}K_{60-120}$ (фон); 3. фон + P_{30} ; 4. фон + P_{60} ; 5. фон + P_{90} ; 6. фон + P_{120} ; 7. фон + P_{150} .

Выборки по регионам формировали с таким расчётом, чтобы они максимально полно охватывали весь возможный диапазон агрохимических показателей, который может встретиться в условиях производства. Так величина кислотности колебалась в пределах рН 3,9-7,7, подвижного фосфора – 12-500, калия – 13-500 мг/кг (по Кирсанову). Поскольку содержание гумуса в опытах было представлено как усреднённый фактор для каждого опыта, не представлялось возможным достоверно учесть его действие.

На основании статистического анализа в модель прогноза эффективности фосфорных удобрений на льне-долгунце можно включить следующие факторы: x_1 – рН; x_2 – содержание подвижного фосфора в почве, мг/кг; x_3 – дозы фосфорных удобрений, кг д.в./га;

Характер полученной взаимосвязи между содержанием подвижного фосфора в почве и эффективностью фосфорных удобрений наиболее достоверно описывается уравнением вида гиперболы. Увеличение содержания фосфора в почве сопровождается снижением прибавки урожайности льна-долгунца от внесения фосфорных удобрений (рис. 7).

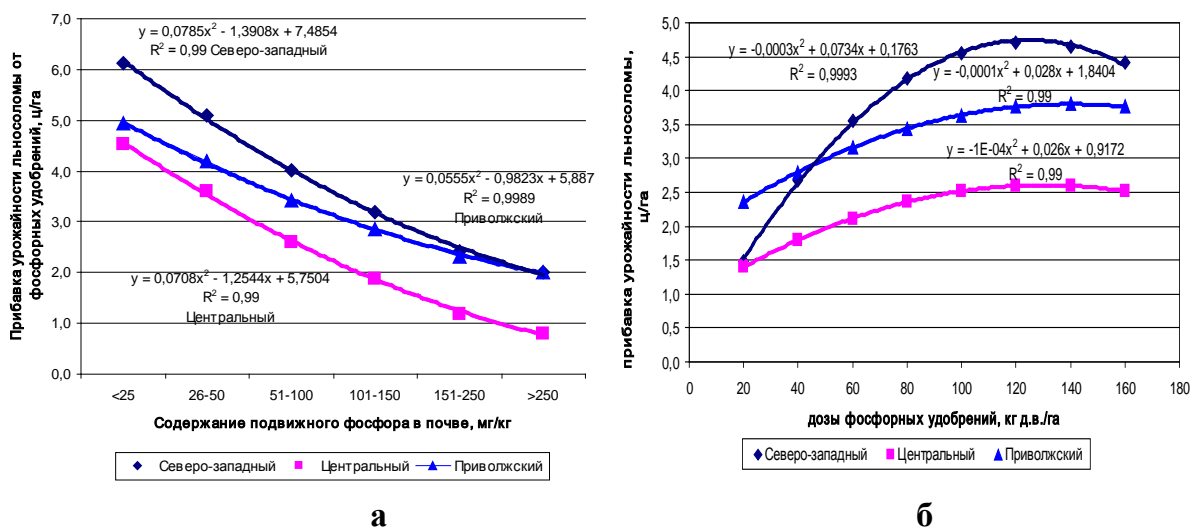


Рис. 7. Прибавка урожайности льносоломы в зависимости от содержания подвижного фосфора в почве (а) и доз фосфорных удобрений (б), ц/га

Влияние возрастающих доз фосфорных удобрений на урожайность соломы льна выражается уравнением вида параболы: $Y=ax^2+bx+c$. В Северо-западном округе в интервале доз 20...60 кг P_2O_5 /га отмечается практически прямолинейная зависимость, с увеличением доз фосфора свыше 80 кг P_2O_5 /га прибавка урожайности значительно снижается. В Центральном и

Приволжском округах с увеличением доз фосфора прибавка урожайности льносолумы носит «затухающий характер» (табл. 12).

Таблица 12. Прогноз прибавки урожайности льна-долгунца от фосфорных удобрений в Европейской части Нечерноземной зоны России (льносолумы, ц/га)

рН	P ₂ O ₅ , мг/кг	дозы P ₂ O ₅ , кг д.в./га								
		б/уд.	20	40	60	80	100	120	140	160
1. Северо-западный округ										
<5,1	<50	23,2	2,8	3,2	3,4	3,6	3,7	3,8	3,7	3,7
	51-100	25,0	2,4	2,8	3,0	3,2	3,3	3,4	3,4	3,3
	101-250	26,4	2,2	2,5	2,8	2,9	3,1	3,1	3,1	3,0
	>250	25,6	2,0	2,3	2,6	2,8	2,9	2,9	2,9	2,8
5,1-6,0	<50	29,3	3,2	3,6	3,8	4,0	4,1	4,2	4,2	4,1
	51-100	31,2	2,9	3,2	3,5	3,6	3,8	3,8	3,8	3,7
	101-250	32,6	2,6	2,9	3,2	3,4	3,5	3,5	3,5	3,4
	>250	31,7	2,4	2,7	3,0	3,2	3,3	3,3	3,3	3,2
>6,1	<50	29,2	3,0	3,4	3,6	3,8	3,9	4,0	3,9	3,9
	51-100	31,0	2,6	3,0	3,3	3,4	3,5	3,6	3,6	3,5
	101-250	32,4	2,4	2,7	3,0	3,2	3,3	3,3	3,3	3,2
	>250	31,6	2,2	2,5	2,8	3,0	3,1	3,1	3,1	3,0
2. Центральный округ										
<5,1	<50	19,1	1,9	2,1	2,2	2,4	2,4	2,5	2,5	2,4
	51-100	21,6	1,6	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,2
	101-250	23,3	1,5	1,7	1,8	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1
	>250	21,8	1,4	1,6	1,7	1,9	1,9	2,0	2,0	1,9
5,1-6,0	<50	22,9	2,1	2,3	2,5	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7
	51-100	25,4	1,9	2,1	2,2	2,4	2,4	2,5	2,5	2,4
	101-250	27,1	1,7	1,9	2,1	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3
	>250	25,6	1,6	1,8	2,0	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2
>6,1	<50	20,1	1,8	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	2,4
	51-100	22,6	1,6	1,8	2,0	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2
	101-250	24,3	1,5	1,7	1,8	2,0	2,0	2,1	2,1	2,0
	>250	22,8	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,0	1,9
3. Приволжский округ										
<5,1	<50	22,5	2,9	3,1	3,3	3,4	3,5	3,5	3,5	3,5
	51-100	24,2	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,2	3,3	3,2
	101-250	25,7	2,5	2,7	2,8	2,9	3,0	3,0	3,1	3,0
	>250	25,6	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	2,9	2,9	2,9
5,1-6,0	<50	22,8	3,1	3,3	3,5	3,6	3,7	3,7	3,7	3,7
	51-100	24,4	2,9	3,1	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	3,4
	101-250	26,0	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,2	3,3	3,2
	>250	25,9	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,1	3,1	3,1
>6,1	<50	15,8	3,1	3,2	3,4	3,5	3,6	3,6	3,6	3,6
	51-100	17,5	2,8	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,4	3,4
	101-250	19,0	2,6	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,2	3,2
	>250	18,9	2,5	2,6	2,8	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0

Согласно полученным данным, наибольшая прибавка урожайности льносолумы от фосфорных удобрений получена при содержании подвижного фосфора менее 50 мг/кг и слабокислой и близкой к нейтральной реакции

почвенной среды. При данных агрохимических показателях в интервале доз 60...120 кг P₂O₅/га наибольшая прибавка составила 3,5-4,2 ц/га. Отмечается резкое снижение окупаемости фосфорных удобрений при внесении их в дозах свыше 60 кг д.в./га. Так, например, в Северо-западном округе оплата 1 кг P₂O₅ приростом урожайности при внесении P₂₀ составляет: при рН<5,1 от 9,9 до 14,1 кг, рН 5,1-6,0 – 12,0-16,2 кг, рН >6,0 – 10,9-15,1 кг льносоломы. Внесение P₈₀ при тех же показателях величины обменной кислотности приводит к снижению окупаемости фосфорных удобрений в 2,8-3,2 раза.

3.2. Эффективность фосфорных удобрений на разных сортах льна-долгунца. Для изучения вопроса целесообразности внесения фосфорных удобрений на почвах с высоким содержанием подвижного фосфора (200 мг/кг почвы по Кирсанову) на опытном поле ВГМХА им. Н.В. Верещагина в 2009-2013 годы проведены полевые опыты с 3-мя сортами льна-долгунца селекции ВНИИ льна. Фосфорное удобрение в форме двойного суперфосфата вносилось в двух дозах – 40 и 60 кг P₂O₅/га на фоне N_{aa30}K_{x90}..

Как показали результаты исследований, влияние фосфорного удобрения на урожайность всего льноволокна было недостоверно по сравнению с фоном на всех сортах льна в засушливом 2013 году (табл. 13).

Таблица 13. Влияние фосфорных удобрений на урожайность всего льноволокна различных сортов льна-долгунца

Сорт - фактор А	Вариант – фактор В	урожайность всего льноволокна, ц/га					прибавка, ц/га		
		годы исследований					в среднем за 5 лет	к контролю	к фону
		2009	2010	2011	2012	2013			
Зарянка	1. контроль	8,6	5,7	4,9	9,1	5,2	6,7	-	-
	2. N ₃₀ K ₉₀ (фон)	9,5	6,8	6,4	10,0	5,8	7,7	1,0	-
	3. Фон + P ₄₀	11,5	8,5	7,1	11,1	6,7	9,0	2,3	1,3
	4. Фон + P ₆₀	11,9	8,2	6,5	9,0	6,3	8,4	1,7	0,7
Альфа	1. контроль	12,5	7,0	7,0	9,8	8,6	9,0	-	-
	2. N ₃₀ K ₉₀ (фон)	15,3	10,1	8,3	11,5	10	11,0	2,0	-
	3. Фон + P ₄₀	16,2	11,5	9,7	12,6	11,5	12,3	3,3	1,3
	4. Фон + P ₆₀	16,6	11,0	10,0	13,5	11,2	12,5	3,5	1,5
Лада	1. контроль	9,1	7,6	6,0	10,4	4,2	7,5	-	-
	2. N ₃₀ K ₉₀ (фон)	12,9	10,2	7,8	13,3	4,7	9,8	2,3	-
	3. Фон + P ₄₀	13,8	12,0	7,9	13,0	5,8	10,5	3,0	0,7
	4. Фон + P ₆₀	14,5	10,1	7,7	13,6	6,1	10,4	2,9	0,6
НСР ₀₅ частных различий		1,4	1,3	0,7	1,8	1,7	-	-	-
НСР ₀₅ фактора А		0,7	0,6	0,4	0,9	0,8	-	-	-
НСР ₀₅ фактора В и АВ		0,8	0,7	0,4	1,0	1,0	-	-	-

Внесение P₄₀ оказывало существенное влияние на увеличение прибавки урожайности льноволокна сорта Зарянка (0,7-2,0 ц/га к фону) только в 2 года из 5-ти. На позднеспелом сорте Лада достоверная прибавка урожайности волокна (0,9-1,8ц/га) по сравнению с N₃₀K₉₀ отмечалась только в 2009 и 2010-х годах. У интенсивного сорта Альфа отмечается тенденция к увеличению урожайности всего льноволокна при повышении доз фосфора с 40 до 60 кг P₂O₅/га, в среднем за 5 лет прибавка к фону составила 1,3-1,4 ц льноволок-

на/га. Неустойчивое влияние оказывало применение фосфорного удобрения на урожайность семян изучаемых сортов льна-долгунца (табл. 14).

Таблица 14. Влияние фосфорных удобрений на семенную продуктивность различных сортов льна-долгунца

Сорт - фактор А	Вариант – фактор В	урожайность льносемян, ц/га					прибавка, ц/га		
		годы исследований					в ср. за 5 лет	к контролю	к фону
		2009	2010	2011	2012	2013			
Зарянка	1. контроль	4,5	3,6	2,0	2,8	4,8	3,5	-	-
	2. N ₃₀ K ₉₀ (фон)	5,1	4,2	2,6	3,5	5,4	4,2	0,7	-
	3. Фон + P ₄₀	5,8	6,0	2,9	3,9	6,4	5,0	1,5	0,8
	4. Фон + P ₆₀	5,5	4,8	2,8	3,3	5,4	4,4	0,9	0,2
Альфа	1. контроль	4,0	2,7	2,3	2,3	4,2	3,1	-	-
	2. N ₃₀ K ₉₀ (фон)	5,2	3,0	2,9	3,0	4,5	3,7	0,6	-
	3. Фон + P ₄₀	5,5	4,4	3,0	3,3	4,8	4,2	1,1	0,5
	4. Фон + P ₆₀	5,7	4,3	3,1	3,4	4,0	4,1	1,0	0,4
Лада	1. контроль	3,4	3,0	2,4	2,2	2,8	2,8	-	-
	2. N ₃₀ K ₉₀ (фон)	4,2	3,4	2,9	2,9	3,5	3,4	0,6	-
	3. Фон + P ₄₀	4,7	4,1	3,1	3,4	3,5	3,8	1,0	0,4
	4. Фон + P ₆₀	4,4	3,3	3,2	3,4	3,2	3,5	0,7	0,1
НСР ₀₅ частных различий		0,4	0,5	0,4	0,4	F _ф <F ₀₅	-	-	-
НСР ₀₅ фактора А		0,2	0,3	0,2	0,2	0,7	-	-	-
НСР ₀₅ фактора В и АВ		0,2	0,3	0,2	0,2	F _ф <F ₀₅	-	-	-

В засушливые годы (2011 и 2013гг.) фосфорные удобрения не оказали существенного влияния на урожайность льносемян по сравнению с азотно-калийным фоном. Внесение P₄₀ на сорте Зарянка обеспечивало повышение урожайности семян в 3 года из 5-ти. Средняя прибавка урожайности в 2009, 2010-м и 2012-х годах при данной дозе колебалась от 0,4 до 1,8 ц/га к N₃₀K₉₀.

На среднеспелом сорте Альфа увеличение урожайности льносемян в 2009-м и 2012-м годах отмечалось при внесении более высокой дозы фосфора – 60 кг P₂O₅/га, прибавка к фону составляла 0,4-0,58 ц/га. В 2010 году внесение фосфора в дозах P₄₀ и P₆₀ было равнозначным – урожайность льносемян повысилась на 1,3-1,4 ц/га к N₃₀K₉₀. Реакция позднеспелого сорта Лада на действие фосфорного удобрения была схожей с сортом Зарянка.

Использование двойного суперфосфата в дозах 40 и 60 кг д.в./га существенно не отразилось на содержании льноволокна в тресте и номере длинного волокна у изучаемых сортов льна-долгунца.

В опыте, установлена низкая окупаемость фосфора - в среднем 1,0-3,3 кг/кг, что связано с низкой прибавкой (а в некоторые годы её отсутствием) урожайности льноволокна из-за высокого и очень высокого содержания подвижного фосфора в почве.

Разностный коэффициент использования P₂O₅ из P_{сд} в среднем за 5 лет изучаемыми сортами льна-долгунца колеблется от 4,2 до 8,0%. Наибольший КИУ_{P₂O₅} = 11% отмечается у сорта Зарянка при внесении P₄₀ на фоне N₃₀K₉₀. Увеличение доз фосфора с 40 до 60 кг д.в./га ведёт к снижению коэффициента использования фосфора из удобрений на 2,4-6,1% (абс.).

4. Влияние калийных удобрений на урожайность и качество льнопродукции

4.1. Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистых почв на эффективность калийных удобрений на льне-долгунце. Для оценки эффективности калийных удобрений на льне-долгунце необходимо определить влияние агрохимических свойств почвы на величину прибавки урожайности льносоломы и выявить оптимальные параметры почвенного плодородия на почвах различного гранулометрического состава. Схема опытов включала следующие варианты: 1. контроль; 2. $N_{40}P_{90-120}$ (фон); 3. фон + K_{30} ; 4. фон + K_{60} ; 5. фон + K_{90} ; 6. фон + K_{120} ; 7. фон + K_{150} .

В Северо-западном и Центральных округах наибольшее число наблюдений (140-150 строк) проведено на легкосуглинистых почвах, 20-21% опытов заложено на супесчаных и 17-27% - на среднесуглистых почвах. В Приволжском округе основной массив опытов (72%) проведён на среднесуглинистых почвах. На основании проведённых расчётов установлена чётко выраженная криволинейная взаимосвязь между величиной обменной кислотности, содержанием подвижного калия, дозами калийных удобрений и прибавкой урожайности. Именно эти факторы были включены в аппроксимационный алгоритм. Вся информация представлена в географическом аспекте отдельно для каждого из 3-х Федеральных округов.

По величине корреляционного отношения связь между выбранными факторами (рН, подвижные формы фосфора и калия, дозы калийных удобрений), характеризуется как средняя и сильная: $\eta = 0,50-0,85$ на 1% уровне значимости. Наибольший относительный (40%) и количественный вклад в формирование прибавки урожайности льносоломы в Северо-западном округе оказывает содержание подвижного калия в супесчаных почвах. На долю других факторов приходится значительно меньшее влияние. Для легко- и среднесуглинистых почв доленое участие факторов распределено более равномерно и колеблется незначительно. В Центральном и Приволжском округах вклад факторов в прибавку урожайности льна-долгунца примерно одинаков и колеблется от 28 до 36%.

Характер взаимосвязи между величиной $pH_{(KCl)}$ и эффективностью калийных удобрений во всех округах наиболее достоверно описывается уравнением вида параболы: $Y=ax^2+bx+c$, а зависимость между содержанием K_2O в почве и прибавкой - уравнением вида гиперболы (рис 8 а; б, г).

С увеличением содержания подвижного калия в почве и утяжеления гранулометрического состава закономерно уменьшается прибавка урожайности льносоломы в следующей убывающей последовательности: супесчаные почвы > легкосуглинистые > среднесуглинистые. Разрыв между максимальной и минимальной прибавкой составляет 1,2-2,0 раза. Согласно полученным данным с увеличением доз калийных удобрений в интервале 30...90 кг д.в./га наблюдается увеличение прибавки урожайности льносоломы на супесчаных и легкосуглинистых почвах; внесение калия в дозах 120...150 кг/га на данных почвах приводит к снижению эффективности удобрений. На среднесу-

глинистых почвах отдача от калийных удобрений проявляется вплоть до 120 кг K_2O /га, при дальнейшем увеличении доз калия кривая выходит на плато.

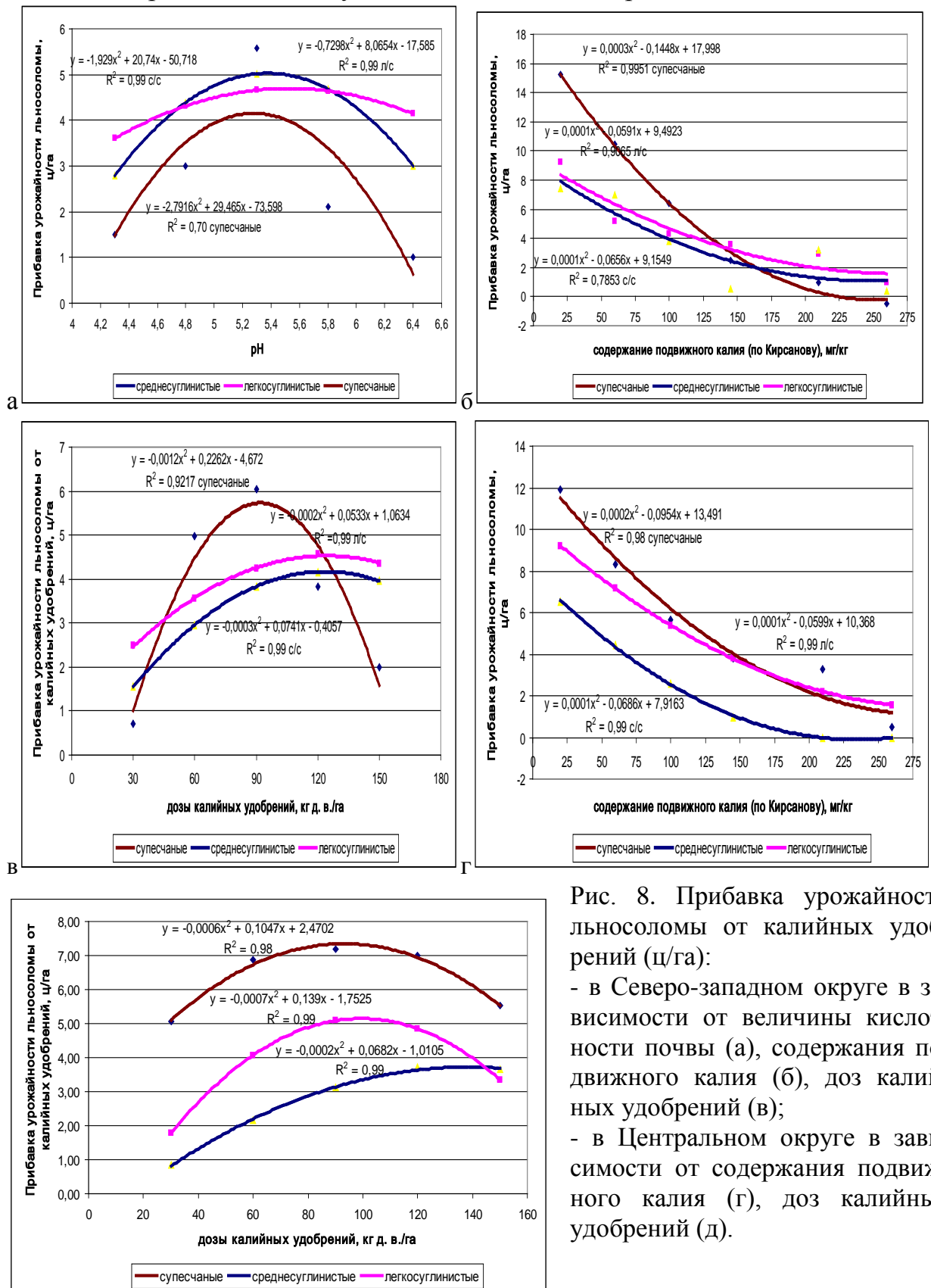


Рис. 8. Прибавка урожайности льносолломы от калийных удобрений (ц/га):

- в Северо-западном округе в зависимости от величины кислотности почвы (а), содержания подвижного калия (б), доз калийных удобрений (в);

- в Центральном округе в зависимости от содержания подвижного калия (г), доз калийных удобрений (д).

д

На основании проведённых исследований определены оптимальные агрохимические показатели почв, при которых получена наибольшая урожай-

ность льносоломы на дерново-подзолистых почвах Нечерноземья с содержанием гумуса 1,0-2,0%, подвижного P_2O_5 - 150-250 мг/кг (табл. 15).

Таблица 15. Оптимальные агрохимические показатели дерново-подзолистых почв для льна-долгунца в Нечерноземной зоне России

№ п/п	Гранулометрический состав почв	Урожайность льносоломы без удобрений, ц/га	Оптимальные агрохимические показатели		Прибавка от K_{90} , ц/га	Окупаемость K_2O , кг/кг
			$pH_{(KCl)}$	K_2O		
Северо-западный округ						
1	супесчаные	30,0	5,2-5,4	100-160	4,2	4,7
2	легкосуглинистые	32,6	5,4-5,6	130-180	4,0	4,4
3	среднесуглинистые	32,9	5,4-5,9	150-220	3,7	4,1
Центральный округ						
1	супесчаные	26,2	5,3-5,5	120-160	5,5	6,1
2	легкосуглинистые	31,0	5,4-5,8	150-180	4,2	4,7
3	среднесуглинистые	27,4	5,4-5,9	150-220	2,4	2,7
Приволжский округ						
1	легкосуглинистые	27,5	5,1-5,4	150-200	3,8	4,2
2	среднесуглинистые	29,6	5,1-5,5	130-180	4,0	4,4

Таким образом, при возделывании льна-долгунца на волокно оптимальные параметры почвенной кислотности составляют: в Центральном и Северо-западном округах: для супесчаных почв – pH_{KCl} 5,2-5,5; для легко- и среднесуглинистых – 5,4-5,8. В Приволжском округе оптимальные показатели кислотности сдвинуты в более кислую сторону и соответствуют слабокислой реакции – $pH_{KCl(опт.)}$ 5,1-5,5.

В Северо-западном и Центральном округах за оптимальное для льна-долгунца содержание подвижного калия (по Кирсанову) можно принять: для супесчаных почв – 100-160 мг/кг; легкосуглинистых – 130-180; среднесуглинистых – 150-220 мг/кг. Для Приволжского округа – 130-200 мг/кг (для легко- и среднесуглинистых почв).

Внесение K_{90} при данных агрохимических показателях почвы обеспечивает следующую прибавку урожайности: 3,7-4,2 ц/га льносоломы в Северо-западном округе; 2,4-5,5 – в Центральном и 3,8-4,0 ц/га – в Приволжском округах. В таких условиях наибольшая окупаемость калия – 4,7-6,1 кг/кг достигается на супесчаных почвах. По мере утяжеления гранулометрического состава эффективность калийных удобрений снижается.

Несмотря на снижение величины прибавки урожайности льносоломы по мере увеличения содержания подвижного калия в почве наибольшая суммарная урожайность (урожайность льна-долгунца без удобрений + прибавка от калия) достигается при указанных агрохимических параметрах. Изменение величины pH и содержания подвижного калия в сторону уменьшения или увеличения приводит к существенному снижению урожайности льносоломы.

4.2. Эффективность калийного удобрения на различных сортах льна долгунца. В полевом двухфакторном опыте на опытном поле ВГМХА им. Н.В. Верещагина изучали влияние калийного удобрения на урожайность соломки и качество льноволокна на различных по срокам созревания сортах

льна-долгунца: раннеспелом – Зарянка, среднеспелом – Альфа и позднеспелом – Лада. Применение (K_x) способствовало достоверному повышению урожайности льносоломой всех изучаемых сортов льна-долгунца (табл. 16).

Таблица 16. Влияние калийного удобрения на урожайность льносоломой различных сортов льна-долгунца, ц/га

Дозы удобрений (В)	2009 г	2010 г	2011 г	2012 г	2013 г	в ср. за 5 лет	прибавка, ц/га	
							к контролю	к фону
сорт Зарянка (A_1)								
1. контроль	42,1	26,2	24,6	52,4	30,1	35,1	-	-
2. $N_{30}P_{40}$ (фон)	47,9	28,8	27,7	56,6	32,8	38,8	3,7	-
3. (фон) + K_{90}	55,7	39,7	32,8	64,4	39,2	46,4	11,3	7,6
В ср. по сорту A_1	48,6	31,6	28,4	57,8	34,0	40,1	-	-
сорт Альфа (A_2)								
1. контроль	53,3	29,4	33,4	55,8	39,9	42,3	-	-
2. $N_{30}P_{40}$ (фон)	65,3	36,1	37,2	67,4	45,7	50,3	8,0	-
3. (фон) + K_{90}	71,8	47,1	42,0	71,8	56,4	57,8	15,5	7,5
В ср. по сорту A_2	63,4	37,5	37,5	65,0	47,3	50,2	-	-
сорт Лада (A_3)								
1. контроль	42,5	33,9	27,9	43,7	24,2	34,5	-	-
2. $N_{30}P_{40}$ (фон)	53,3	40,3	32,8	53,7	27,1	41,4	6,9	-
3. (фон) + K_{90}	64,4	49,3	35,4	58,7	34,0	48,4	13,9	7,0
В ср. по сорту A_3	53,4	41,2	32,1	52,0	28,4	41,4	-	-
НСР ₀₅ ч. разл.	6,5	5,0	2,5	4,3	4,5	-	-	-
НСР ₀₅ (ф. А и В)	3,8	2,9	1,4	2,3	2,6	-	-	-

Существенное увеличение урожайности льносоломой от K_{90} отмечается во все годы проведения исследований. Средняя прибавка к фону ($N_{30}P_{40}$) по сортам варьировала незначительно и составляла 6,9-7,6 ц/га (15-19%). За счёт более высокого содержания как общего (в среднем 30,5-31,5 %), так и длинного льноволокна (21,6-21,9%) сорта Альфа и Лада обеспечивают урожайность при внесении K_{90} в среднем за 5 лет 8,8 и 7,9 ц/га длинного льноволокна соответственно. У раннеспелого сорта Зарянка выход всего волокна в среднем составляет 27,1%, в том числе 18% - длинного (6,0 ц/га). Применение K_x существенно не повлияло на номер длинного волокна.

Средневзвешенные коэффициенты использования K_2O из хлористого калия, внесённого в дозе 90 кг. д.в./га составили (на фоне $N_{30}P_{40}$): у раннеспелого сорта Зарянка – 27,5% среднеспелого Альфа – 12,1 и позднеспелого сорта Лада – 16,2%. Отмечается сильная вариабельность КИУ _{K_2O} - 52,2-47,2% для сортов Зарянка и Альфа и 28,2% - сорта Лада.

5. Эффективность минеральных удобрений при возделывании льна-долгунца на дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны России

5.1. Агроэкономическая эффективность полного минерального удобрения на льне-долгунце в Нечерноземной зоне России.

Расчёт прибавки урожайности льносоломой от полного минерального удобрения вели путём суммирования прибавки от каждого вида удобрения с учётом конкретных агрохимических показателей почв, их гранулометрического состава, а

также видов предшественников. Урожайность льносолемы без удобрений определяли с учётом взаимодействия всех факторов ($pH_{(KCl)}$, P_2O_5 , K_2O , предшественник, гран. состав).

За счёт дифференцированных по агрохимическим показателям доз минеральных удобрений в Северо-западном округе, возможно получение прибавки от NPK 6,9-11,5 ц/га льносолемы или 1,5-2,6 ц/га волокна (табл. 17).

Таблица 17. Эффективность различных видов и доз минеральных удобрений на льне-долгунце в зависимости от агрохимических свойств и гранулометрического состава дерново-подзолистых почв в Северо-западном округе

№ п/п	pH	Содержание в почве, мг/кг		Дозы минеральных удобрений кг д.в./га				Урожайность льносолемы, ц/га		Прибавка урожайности, ц/га*
		P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	всего	без удобрений	с удобрениями	
1. Предшественник - зерновые										
1.1. супесчаные почвы										
1	<5,1	<50	<40	30	30	90	150	18,4	28,2	9,8/2,2
2	5,1-5,5	101-250	81-120	30	30	90	150	30,3	41,8	11,5/2,6
1.2. легко- и среднесуглинистые										
1	<5,1	<50	<40	30	40	90	160	22,2	32,0	9,8/2,2
2	5,1-6,0	101-250	121-170	30	30	90	150	32,1	42,6	10,5/2,3
3	>6,0	>250	>250	30	20	60	110	29,4	37,2	7,8/1,7
2. Предшественник – многолетние бобово-злаковые травы 2 г.п.										
2.1. супесчаные почвы										
1	<5,1	<50	<40	20	30	90	140	20	28,7	8,7/1,9
2	5,1-5,5	101-250	81-120	20	20	90	130	30	39,6	9,6/2,1
2.2. легко- и среднесуглинистые										
1	<5,1	<50	<40	20	40	120	180	25,5	35,4	9,9/2,2
2	5,1-6,0	101-250	121-170	20	30	90	140	33,5	43,0	9,5/2,1
3	>6,0	>250	>250	20	20	60	100	30,8	37,7	6,9/1,5

*Примечание: в числителе - прибавка урожайности льносолемы, в знаменателе – льноволокна (с учётом коэф. зачёта соломы в волокно для исследуемых сортов равным 4,5), ц/га

Прибавка урожайности льносолемы от полного минерального удобрения при возделывании льна-долгунца после зерновых культур на 1,0-1,1ц/га выше, чем после многолетних трав 2 г.п., что связано с улучшением азотного режима почв за счёт накопления биологического азота в поукосно-корневых остатках многолетних бобово-злаковых трав. Именно поэтому доза азота для льна-долгунца, возделываемого по пласту многолетних трав, на 10 кг д.в. ниже, чем после зерновых предшественников. При посеве льна после многолетних трав увеличивается доленое участие фосфорных и калийных удобрений (при одновременном снижении азотных) в формировании прибавки урожайности от полного минерального удобрения в сравнении с зерновыми предшественниками (табл. 18).

Наибольшее доленое участие (53,3%) в прибавке урожайности от полного удобрения наблюдается на бедных питательными веществами малобуферных супесчаных почвах при низком содержании подвижных форм фос-

фора и калия. По мере перехода от супесчаных к легко- и среднесуглинистым почвам и улучшения их питательного режима при рН 5,1-6,0 повышается урожайность в вариантах без внесения удобрений. В то же время долевое участие от НРК в формировании прибавки урожайности снижается до 28,4-32,7%, а при нейтральной реакции среды и очень высоком содержании подвижных форм фосфора и калия – до 22,4-26,5%.

Таблица 18. Окупаемость и вклад различных видов и доз удобрений в формирование прибавки урожайности льна-долгунца в Северо-западном округе *

№ п/п	Прибавка урожайности льносолумы от удобрений, ц/га				Долевое участие удобрений в прибавке урожайности, %				Окупаемость 1 кг д.в. прибавкой урожайности льносолумы, кг			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	всего	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	всего	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	всего
1. Предшественник - зерновые												
1.1 супесчаные почвы												
1	3,3	3,0	3,5	9,8	33,7	30,6	35,7	53,3	11,0	10,0	3,9	6,5
2	4,6	2,7	4,2	11,5	40,0	23,5	36,5	38,0	15,3	9,0	4,7	7,7
1.2. легко- и среднесуглинистые												
1	2,4	3,2	4,2	9,8	24,5	32,7	42,9	44,1	8,0	8,0	4,7	6,1
2	3,8	2,7	4,0	10,5	36,2	25,7	38,1	32,7	12,7	9,0	4,4	7,0
3	2,7	2,2	2,9	7,8	34,6	28,2	37,2	26,5	9,0	11,0	4,8	7,1
2. Предшественник – многолетние бобово-злаковые травы 2 г.п.												
2.1. супесчаные почвы												
1	2,2	3,0	3,5	8,7	25,3	34,5	40,2	43,5	11,0	10,0	3,9	6,2
2	2,8	2,6	4,2	9,6	29,2	27,1	43,8	32,0	14,0	13,0	4,7	7,4
2.2. легко- и среднесуглинистые												
1	2,2	3,2	4,5	9,9	22,2	32,3	45,5	38,8	11,0	8,0	3,8	5,5
2	2,8	2,8	3,9	9,5	29,5	29,5	41,1	28,4	14,0	9,3	4,3	6,8
3	1,8	2,2	2,9	6,9	26,1	31,9	42,0	22,4	9,0	11,0	4,8	6,9

* - обозначения те же, что и в таблице 17

Лучше всего окупаются азотные и фосфорные удобрения, несколько хуже – калийные. За счёт подбора оптимальных доз удобрений с учётом агрохимических свойств почвы, планируемой урожайности, гранулометрического состава почв по обоим предшественникам наблюдается высокая окупаемость от полного минерального удобрения, которая колеблется в диапазоне 5,5...7,7 кг льносолумы или 1,22-1,71 кг волокна на 1 кг НРК. Это в 1,2-1,7 раза выше данных опубликованных в «Нормативах для определения потребности сельского хозяйства в минеральных удобрениях» (1985).

В Центральном округе оптимальный диапазон доз минеральных удобрений лежит в интервале N₂₀P₂₀₋₄₀K₆₀₋₉₀. Прибавка от полного минерального удобрения на почвах различного гранулометрического состава находится в следующей убывающей последовательности: супесчаные почвы (12,4 ц/га) < легкосуглинистые (9,1-10,1 ц/га) < среднесуглинистые почвы (7,8-8,8 ц/га). В переводе на волокно она составляет 2,76 ц/га; 2,02-2,24 и 1,73-1,96 ц/га соответственно. По мере повышения содержания подвижных форм фосфора и калия на данных почвах соотношение между НРК сужалось до 1:1:3, по сравнению со слабо- и среднеобеспеченными, где оптимальным было соотношение 1:2:4,5 и 1:1,5:4,5 соответственно. На супесчаных почвах соотношение

между NPK равнялось 1:1,5:4,5. В Приволжском округе при рН 5,1-6,0, повышенной и высокой обеспеченности почв подвижным фосфором и повышенной – калием, оптимальные дозы минеральных удобрений под лён-долгунец по зерновым предшественникам составляют $N_{30}P_{40}K_{90}$, а при посеве льна по пласту многолетних трав – $N_{20}P_{40}K_{90}$. Наибольшее доленое участие в формировании прибавки урожайности приходится на азотные удобрения – 36,0-38,1%, затем на калийные – 34-35% и фосфорные – 28-29%.

В целом, окупаемость прибавкой урожайности льноволокна дифференцированных доз NPK в Центральном округе несколько выше по сравнению с Северо-западным регионом и при оптимальных агрохимических показателях составляет: на супесчаных почвах 2,07 кг/кг, на легкосуглинистых – 1,73-1,91, на среднесуглинистых – 1,44-1,62 кг/кг.

За счёт дифференциации доз минеральных удобрений в зависимости от комплекса агрохимических показателей прибавка урожайности в Приволжском округе колебалась в пределах 8,0-12,2 ц/га льносоломы, что в переводе на волокно составляет 1,78-2,71 ц/га. Оплата 1 кг д.в. NPK приростом урожайности изменяется от 7,0 до 8,0 кг льносоломы (1,56-1,78 кг волокна) при посеве льна после зерновых культур и 7,1-8,6 кг льносоломы (1,58-1,91 кг льноволокна) – по пласту многолетних трав.

Расчёт экономической эффективности показывает, что наибольший чистый доход получен на почвах с наиболее благоприятными для льна-долгунца агрохимическими показателями: слабокислой и близкой к нейтральной реакцией среды, повышенном и высоком содержании подвижного фосфора и средней или повышенной обеспеченностью калием (по Кирсанову). При данных агрохимических показателях при внесении под лён-долгунец $N_{30}P_{30}K_{90}$, возделываемый после зерновых, чистая прибыль в Северо-западном округе составляет 1,1-1,51 тыс. руб./га, а после многолетних трав при дозе $N_{20}P_{20-30}K_{90}$ – 1,0-1,4 тыс. руб./га при рентабельности 30,4-41,3% и 31,7-46,8% соответственно. Внесение $N_{20}P_{30}K_{90}$ в Центральном округе на супесчаных почвах с рН выше 5,0 при повышенном и высоком содержании подвижного фосфора и среднем – калия (по Кирсанову) при посеве льна по обоим предшественникам обеспечивает рентабельность на уровне 73%.

Возделывание льна-долгунца после многолетних трав на легко- и среднесуглинистых почвах повышает рентабельность внесения $N_{20}P_{30}K_{90}$ на 12,9-13,5 % по сравнению с зерновыми предшественниками. В Приволжском округе окупаемость затрат на применение удобрений стоимостью полученной льнопродукции колеблется от 1,27 до 1,56 руб./руб.

При разработке системы удобрения льна-долгунца необходимо учитывать сортовые особенности культуры. Так, N_{aa} на среднесуглинистой дерново-подзолистой почве с высоким содержанием подвижного фосфора и средним – калия (по Кирсанову) при рН 5,1-5,5 экономически выгодно вносить в дозах 15-60 кг N/га на всех изучаемых сортах на фоне $P_{40}K_{90}$. На раннеспелом сорте Зарянка и позднеспелом Лада наибольший чистый доход – 1,9 тыс./га получен при внесении N_{30} , при уровне рентабельности 40,7-42,6%. В то же время, для интенсивного сорта Альфа оптимальный диапазон доз азота нахо-

дится в интервале 30...60 кг д.в./га, применение которых обеспечивает рентабельность 46,1-51,5%. Применение $P_{60}K_{90}$ совместно с борными и цинковыми микроудобрениями в дозах 1 и 2 кг д.в./га соответственно повышает эффективность азотного удобрения на льне-долгунце сорта Дашковский по сравнению с $P_{60}K_{90}$ без микроэлементов на 16,8-30%. Внесение K_x в дозе 90 кг K_2O /га способствует увеличению чистого дохода на 1,9-2,1 тыс. руб./га по сравнению с азотно-фосфорным фоном.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Результаты изучения эффективности минеральных удобрений на льне-долгунце показали, что наибольшее влияние на формирование прибавки урожайности льносолемы оказывали такие агрохимические показатели почвы как кислотность, содержание подвижных форм фосфора и калия. В опытах с азотными удобрениями – вид предшественника и в отдельных случаях содержание гумуса, с калийными – гранулометрический состав почвы.

2. При посеве льна-долгунца после многолетних бобово-злаковых трав за счёт накопления в почве биологического азота улучшался азотный режим почвы и, как следствие, снижалась эффективность азотных удобрений по сравнению с зерновыми предшественниками. Наиболее заметно эта тенденция проявилась в Северо-западном округе, где прибавка урожайности при внесении эквивалентных доз азота снижалась в 2-2,3 раза.

3. Наибольшая урожайность льносолемы получена при слабокислой и близкой к нейтральной реакции почвенной среды, средней и повышенной обеспеченности почв калием. Изменение этих агрохимических показателей, как в сторону увеличения, так и уменьшения снижало эффективность удобрений.

4. Эффективность азотных удобрений снижалась при увеличении содержания гумуса в почве. Эта тенденция характерна для Северо-западного округа и Центрального региона при посеве льна по зерновым предшественникам. В Приволжском округе такой закономерности не выявлено.

5. При возделывании льна-долгунца в Северо-западном и Приволжском округах после зерновых предшественников внесение азота в интервале 20...60 кг д. в./га способствовало повышению прибавки урожайности льносолемы, применение азота в более высоких дозах приводило к некоторому её снижению. В Центральном округе оптимальные дозы азота находились в диапазоне 20...40 кг N/га.

6. При посеве льна-долгунца по пласту многолетних бобово-злаковых трав наибольшая прибавка от азотных удобрений в Северо-западном и Центральном округах наблюдалась при внесении их в минимальной дозе N_{20} . В Приволжском округе эффективны оказались более высокие дозы – N_{40-50} .

7. Использование в качестве предшественника льна-долгунца пласта клеверо-тимофеечных травосмесей 2-го года пользования на почвах со слабокислой реакцией среды, средней и повышенной обеспеченностью калием при внесении N_{20} обеспечивало наибольшую урожайность льносолемы – 26,0-37,5 ц/га в Северо-западном и 34,0 ц/га в Центральном округе. В При-

волжском округе урожайность возрастала по мере увеличения содержания подвижного калия в почве вплоть до высокой обеспеченности и при дозе N_{40} составляла 32,4 ц/га. При этом наибольшая окупаемость 1 кг азота, внесённого в дозе N_{20} , приростом урожайности льносолемы отмечена в Центральном округе – 30 кг/кг. В Приволжском и Северо-западном округе она была несколько ниже – 17,5-20 и 8,0-15,0 кг/кг соответственно.

8. Связь между содержанием подвижного фосфора в почве и эффективностью фосфорных удобрений наиболее достоверно описывается уравнением вида гиперболы. При этом увеличение содержания фосфора в почве закономерно сопровождалось снижением прибавки урожайности льна-долгунца от внесения фосфорных удобрений во всех округах.

9. Наибольшая прибавка урожайности льносолемы при внесении фосфорных удобрений отмечалась при низком содержании подвижного фосфора в почве при $pH_{(KCl)}$ 5,1-6,0. При таких агрохимических показателях прибавка урожайности носила «затухающий» характер и составляла: в Северо-западном округе – 3,6-4,2 ц/га, в Приволжском – 3,3-3,7, в Центральном округе 2,1-2,5 ц/га. Внесение фосфорных удобрений в дозах свыше 60 кг д.в./га сопровождается резким снижением их окупаемости в 2,8-3,2 раза.

10 Связь между величиной pH и эффективностью калийных удобрений во всех округах наиболее достоверно описывалась уравнением вида параболы, а зависимость между содержанием K_2O в почве и прибавкой урожайности – уравнением вида гиперболы. С увеличением содержания подвижного калия и утяжеления гранулометрического состава почвы закономерно уменьшалась величина прибавки в следующей убывающей последовательности: супесчаные почвы > легкосуглинистые > среднесуглинистые.

11. С увеличением доз калийных удобрений от 30 до 90 кг д.в./га наблюдалось повышение прибавки урожайности льносолемы (волокна) на супесчаных и легкосуглинистых почвах; внесение калия в дозах 120...150 кг д.в./га приводило к снижению эффективности удобрений. На среднесуглинистых почвах отдача от калийных удобрений проявляется вплоть до 120 кг K_2O /га, при дальнейшем увеличении доз калия прирост урожайности прекращается.

12. Прибавка урожайности льна-долгунца при внесении калийных удобрений в Северо-западном и Центральном округах на среднесуглинистых почвах значительно ниже, чем на супесчаных и легкосуглинистых почвах. В Приволжском округе различия в эффективности калийных удобрений в зависимости от гранулометрического состава выражены менее контрастно. Наибольшая окупаемость калия получена на супесчаных почвах; по мере утяжеления гранулометрического состава наблюдается снижение оплаты калийных удобрений.

13. При возделывании льна-долгунца на волокно оптимальная почвенная кислотность находилась в Центральном и Северо-западном округах для супесчаных почв в пределах pH_{KCl} 5,2-5,5; для легко- и среднесуглинистых – 5,4-5,8; в Приволжском округе оптимальные показатели кислотности сдвинуты в более кислую сторону и соответствуют $pH_{KCl(опт.)}$ 5,1-5,5. За оптимальное

содержание подвижного калия можно принять для супесчаных почв – 100-160 мг/кг; легкосуглинистых – 130-180; среднесуглинистых – 150-220 мг/кг (Северо-западный и Центральный округ); для Приволжского – 130-200 мг/кг (легко- и среднесуглинистые почвы). Наибольшая урожайность льноволокна (до 10 ц/га) отмечалась при повышенной и высокой обеспеченности почвы подвижным фосфором.

14. Дифференциация доз минеральных удобрений, учитывающих комплекс агрохимических свойств почвы и их гранулометрический состав, позволяет повысить эффективность полного минерального удобрения при возделывании льна-долгунца в Нечерноземной зоне России. При таком подходе оплата 1 кг NPK прибавкой урожайности в среднем составляет 1,22-1,71 кг льноволокна в Северо-западном округе, 1,44-2,07 кг в Центральном и 1,56-1,91 кг в Приволжском округе, что в 1,3-2,0 раза выше ранее разработанных нормативов.

15. В Северо-западном округе при посеве льна после многолетних трав увеличивалось доленое участие фосфорных и калийных удобрений в формировании прибавки урожайности в сравнении с зерновыми предшественниками. На легко- и среднесуглинистых почвах по мере увеличения их обеспеченности подвижными формами фосфора и калия доленое участие фосфорных и калийных удобрений снижалось в 2 раза. Одновременно возрастала роль азотных удобрений, доля участия которых в формировании прибавки от полного минерального удобрения увеличивалась до 40-60% и более.

16. При различных метеорологических условиях и содержании минерального азота в почве оптимальные дозы азота составили: для раннеспелого сорта Зарянка и позднеспелого Лада – 15-30 кг N/га, среднеспелого Альфа – 30-45 кг N/га при окупаемости 6,4-12,0 и 6,7-8,0 кг льноволокна/кг. При высокой и очень высокой обеспеченности дерново-подзолистой почвы подвижным фосфором возделывание исследуемых сортов льна-долгунца возможно без внесения фосфорных удобрений или при внесении их в минимальной дозе - 40 кг д.в./га.

17. Эффективность азотных удобрений находилась в достаточно тесной зависимости от содержания минерального азота в почве перед посевом и гидротермического коэффициента в период интенсивного роста льна-долгунца. Эта зависимость в отношении $N_{\text{мин}}$ характеризовалась обратной по направлению и средней по тесноте связи ($r = -0,56-0,61$), а от ГТК как прямой по форме и сильной по тесноте ($r = 0,63-0,79$).

18. Внесение минеральных удобрений в дозах, дифференцированных по агрохимическим показателям, обеспечивает устойчивую рентабельность их использования (30-40%). Затраты на применение азотного и калийного удобрений окупаются на всех изучаемых сортах. Применение фосфорного удобрения на почве с высоким содержанием P_2O_5 рентабельно только при внесении в дозе 40 кг д.в./га.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

Полученные в ходе исследований результаты позволяют дать следующие рекомендации для льносеющих хозяйств Нечернозёмной зоны:

1. Дозы минеральных удобрений необходимо определять с учётом следующих агрохимических показателей почвы: для азотных удобрений – величины $pH_{(KCl)}$, содержания минерального азота, подвижного калия в почве, в некоторых случаях – содержания гумуса; фосфорных – содержания подвижного фосфора и $pH_{(KCl)}$; калийных – содержания подвижного калия и $pH_{(KCl)}$. В качестве дополнительных факторов при определении доз азотных удобрений необходимо учитывать вид предшественника, а калийных – гранулометрический состав почв.

2. При возделывании льна-долгунца после многолетних бобово-злаковых трав необходимо уменьшение доз азота на 10-20 кг д.в./га по сравнению с зерновыми предшественниками, при одновременном увеличении фосфорных и калийных – на 10-20 и 20-30 кг д.в./га соответственно.

3. Дозы азотных удобрений наиболее точно можно определить исходя из содержания минерального азота в пахотном слое (0-20 см) почвы перед посевом льна-долгунца и величины ГТК июня-июля на основании долгосрочного агрометеорологического прогноза Гидрометеоцентра России для конкретного региона. При этом для сортов Зарянка, Альфа и Лада представляется возможным прогнозировать величину прибавки урожайности льноволокна и окупаемость азота удобрений. Это позволяет подобрать для складывающихся условий оптимальные дозы азотных удобрений, обеспечивающих получение запланированной урожайности льноволокна и добиться наибольшей окупаемости удобрений.

Заключение

Возделывание льна-долгунца по базовым технологиям, с использованием дифференцированных по агрохимическим показателям почвы доз минеральных удобрений, позволит поднять урожайность льноволокна в Северо-западном, Центральном и Приволжском федеральных округах до 10 ц/га, а также повысить их окупаемость прибавкой урожайности в 1,5-1,7 раза.

Увеличение посевных площадей льна-долгунца в Северо-западном округе до 15 тыс. га, Центральном – 25 тыс. га, Приволжском – 14 тыс. га (в сумме на 16,3 тыс. га или на 43% больше по отношению к 2012 году) при одновременном росте урожайности обеспечит валовой сбор волокна в данных округах на уровне 54,0 тыс. тонн.

В целом по стране, с учётом Сибирского (18,0 тыс. т в 2012 г) и Уральского (0,2-0,5 тыс. т в 2011-2012 гг.) федеральных округов, общее производство льноволокна составит порядка 72,0-73,0 тыс. тонн.

Это позволит выполнению индикаторных показателей подпрограммы «Развитие подотрасли растениеводства, переработки и реализации продукции растениеводства» по валовому сбору льноволокна и пеньковолокна - 72,0 тыс. тонн к 2020 году «Государственной программы развития сельского хо-

зяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы».

Таким образом, внедрение результатов исследований в производство, поможет отказаться от закупки льноволокна из-за рубежа и обеспечить текстильный сектор Российской Федерации собственным льносырьём.

Список основных опубликованных работ по теме диссертации

Публикации в изданиях из Перечня российских рецензируемых научных журналов, в которых изложены основные научные результаты диссертации:

1. Налиухин, А.Н. Оптимизация минерального питания льна-долгунца при возделывании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве / А.Н. Налиухин // Плодородие. – 2010. – № 6. – С. 16-18.

2. Налиухин, А.Н. Сортовая отзывчивость льна-долгунца на минеральные удобрения на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве / А.Н. Налиухин // Плодородие. – 2011. – № 6. – С. 9-11.

3. Налиухин, А.Н. Определение потребности в применении борных и цинковых микроудобрений под лён-долгунец в Вологодской области / А.Н. Налиухин, Н.В. Веденева // Плодородие. – 2012. – № 1. – С. 13-15.

4. Налиухин, А.Н. Эффективность применения азотного удобрения под лён-долгунец в зависимости от фона минерального питания на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве / А.Н. Налиухин // Агрохимический вестник. – 2012. – № 1. – С. 5-7.

5. Налиухин, А.Н. Современные технологии возделывания льна-долгунца в Вологодской области / А.Н. Налиухин, Е.В. Шильниковская // Земледелие. – 2012. – № 4. – С. 38-40.

6. Веденева, Н.В. Состояние плодородия пахотных почв и планирование урожайности льна-долгунца в Вологодской области / Н.В. Веденева, А.Н. Налиухин // Агрохимический вестник. – 2012. – № 3. – С. 2-4.

7. Налиухин, А.Н. Калийный режим дерново-подзолистых почв льноводческих районов Вологодской области и эффективность калийных удобрений в посевах льна-долгунца / А.Н. Налиухин, Н.В. Веденева // Агрохимия. – 2012. – № 12. – С. 24-30.

8. Налиухин, А.Н. Оптимизация азотного питания льна-долгунца при его возделывании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве / А.Н. Налиухин // Агрохимия. – 2013. – № 3. – С. 36-43.

9. Кудряшова, Н.А. Комплексное применение удобрений и средств защиты растений – залог высокой урожайности и качества льнопродукции / Н.А. Кудряшова, Н.И. Нефедова, О.В. Шадрин, А.Н. Налиухин // Защита и карантин растений. – 2013. – № 5. – С. 56-58.

10. Шафран, С.А. Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистых почв на эффективность азотных удобрений на льне-долгунце / С.А. Шафран, А.Н. Налиухин // Плодородие. – 2013. – № 6. – С. 2-4.

11. Ладухин, А.Г. Применение специальных видов комплексных удобрений на льне-долгунце в условиях Северной части Нечерноземной зоны Рос-

сии / А.Г. Ладухин, А.Н. Налиухин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 12. – С. 7-12.

12. Налиухин, А.Н. Окупаемость фосфорных удобрений прибавкой урожая льна-долгунца на дерново-подзолистых почвах / А.Н. Налиухин, С.А. Шафран // Плодородие. – 2014. – № 3. – С. 2-4.

13. Налиухин, А.Н. Оценка эффективности калийных удобрений на льне-долгунце в зависимости от агрохимических свойств дерново-подзолистых почв / А.Н. Налиухин, С.А. Шафран // Плодородие. – 2014. – № 4. – С. 14-16.

14. Налиухин А.Н. Эффективность применения азотных удобрений под лен-долгунец в зависимости от агрохимических свойств дерново-подзолистых почв / А.Н. Налиухин, С.А. Шафран // Агрохимия. – 2014. – № 9. – С. 26-34.

15. Пат. 2469012 Российская Федерация, МПК C05D 9/02 (2006.01). Комплексное минеральное удобрение для льна-долгунца / А.Н. Налиухин, Б.Н. Старковский; заявл. 17.03.11; опубл. 10.12.12, Бюл. № 34. – 7 с.: табл. – 5.

Публикации в других изданиях

16. Налиухин, А.Н. Влияние возрастающих доз азотного удобрения на урожайность льна-долгунца в зависимости от фона минерального питания / А.Н. Налиухин // Вклад молодых учёных в развитие науки. Матер. 4-й международной науч.-практ. конф. – Великие Луки, ВГСХА. – 2009. – С. 110-113.

17. Налиухин, А.Н. Влияние возрастающих доз азотного удобрения на морфологические показатели и урожайность льна-долгунца в зависимости от фона минерального питания / А.Н. Налиухин, А.В. Пеганов // Наука – агропромышленному комплексу. Том 3. Биологические науки: сб. науч. тр. ВГМХА. – Вологда. – Молочное: ИЦ ВГМХА. – 2009. – С. 50-53.

18. Налиухин, А.Н. Дифференцированное применение минеральных удобрений - залог высокой урожайности и качества льнопродукции / А.Н. Налиухин // Информационный бюллетень Вологодского регионального информационно-консультационного центра. – Вологда. – 2009. – С. 38 – 40.

19. Налиухин, А.Н. Влияние азотного удобрения и фона минерального питания на урожайность льна-долгунца / А.Н. Налиухин // Комплексное применение средств химизации в адаптивно-ландшафтном земледелии. Матер. 44-й международной научной конф. – М.: ВНИИА. – 2010. – С. 205-208.

20. Налиухин, А.Н. Влияние уровня минерального питания на урожайность льна-долгунца / А.Н. Налиухин // Научные достижения – льноводству. Матер. науч.-практ. конф. – Торжок. – 2010. – С. 231-234.

21. Налиухин, А.Н. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество льнопродукции / А.Н. Налиухин // Современные аспекты молочного дела в России: сб. докладов науч.-практ. конф., посвященной 170-летию со дня рождения Н. В. Верещагина. – Вологда-Молочное: ИЦ ВГМХА. – 2010. – С. 43-45.

22. Налиухин, А.Н. Планирование урожайности льна-долгунца в производственно-сырьевых зонах Вологодской области / А.Н. Налиухин, Е.В. Шильниковская // Наука и инновационные процессы в АПК. Том 3. Биологические

науки: сб. науч. тр. ВГМХА по рез. раб. науч.-практ. конф., посвящённой 100-летию академии. – Вологда. – Молочное: ИЦ ВГМХА. – 2011. – С. 42-45.

23. Налиухин, А.Н. Влияние различных видов и доз минеральных удобрений на урожайность интенсивных сортов льна-долгунца / А.Н. Налиухин // Применение средств химизации для повышения урожайности и качества сельскохозяйственных культур. Матер. 45-й международной научной конф. – М.: ВНИИА. – 2011. – С. 128-131.

24. Налиухин, А.Н. Разработка новых видов минеральных удобрений для льна-долгунца / А.Н. Налиухин // Инновационная деятельность: проблемы, практика коммерциализации: сб. материалов 6-го научно-практ. семинара. – Вологда: ИСЭРТ РАН. – 2012. – С. 94-98.

25. Налиухин, А.Н. Содержание и динамика минерального азота в дерново-подзолистой почве при возделывании льна-долгунца / А.Н. Налиухин // Эффективность применения средств химизации в современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. Матер. 46-й международной науч. конф. – М.: ВНИИА. – 2012. – С. 146-149.

26. Налиухин, А.Н. Влияние возрастающих доз аммонийной селитры на динамику содержания минерального азота в почве по фазам развития льна-долгунца / А.Н. Налиухин // Актуальные проблемы экологии, агрохимии и почвоведения в XXI веке. Матер. международной науч.-практ. конф. – Брянск.: Брянская ГСХА. – 2012. – С. 189-192.

27. Налиухин, А.Н. Эффективность азотного удобрения на льне-долгунце в зависимости от фона минерального питания / А.Н. Налиухин // Актуальные проблемы экологии, агрохимии и почвоведения в XXI веке. Матер. международной науч.-практ. конф. – Брянск.: Брянская ГСХА. – 2012. – С. 193-197.

28. Налиухин, А.Н. Влияние фона минерального питания и доз азотного удобрения на технологические свойства льноволокна / А.Н. Налиухин // Вавиловские чтения – 2012. Матер. межд. науч.-практ. конф., посвященной 125-летию со дня рождения Н.И. Вавилова. – Саратов.: ИЦ Наука. – 2012. – С. 361-364.

29. Налиухин, А.Н. Эффективность применения калийных удобрений на льне-долгунце / А.Н. Налиухин // Вавиловские чтения – 2012. Матер. межд. науч.-практ. конф., посвященной 125-летию со дня рождения Н.И.Вавилова. – Саратов: ИЦ Наука. – 2012. – С. 364-366.

30. Налиухин, А.Н. Агрохимическая характеристика почв льноводческих районов Вологодской области / А.Н. Налиухин // Достижения молодых ученых в решении проблем АПК. Матер. межд. науч.-практ. конф., 18-19 апреля 2012 года. – Великие Луки. – 2012. – С. 92-96.

31. Налиухин, А.Н. Влияние возрастающих доз азотного удобрения на урожайность и качество льноволокна / А.Н. Налиухин // Современные проблемы и перспективы развития сельского хозяйства и лесного комплекса: сб. трудов. – Вологда-Молочное.: ИЦ ВГМХА. – 2013. – С. 149-154.

32. Налиухин, А.Н. Влияние возрастающих доз азотного удобрения на урожайность различных сортов льна-долгунца / А.Н. Налиухин // Перспекти-

вы применения средств химизации в ресурсосберегающих агротехнологиях. Матер. 47-й международной науч. конф. – М.: ВНИИА. – 2013. – С. 134-137.

33. Налиухин, А.Н. Влияние хлористого калия на урожайность и химический состав льносоломы и семян различных сортов льна-долгунца / А.Н. Налиухин // Перспективы применения средств химизации в ресурсосберегающих агротехнологиях. Матер. 47-й международной науч. конф. – М.: ВНИИА. – 2013. – С. 137-139.

34. Налиухин, А.Н. Эффективность применения внекорневых подкормок на посевах льна-долгунца / А.Н. Налиухин // Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы. Сб. научных трудов Международной науч.-практ. конф. молодых ученых. – СПбГАУ. – 2013. – С. 26-28.

35. Налиухин, А.Н. Влияние возрастающих доз азотного удобрения на урожайность различных сортов льна-долгунца в зависимости от содержания минерального азота в почве / А.Н. Налиухин // Молочнохозяйственный вестник. – 2013. – № 3 (11). – С. 16-19. Режим доступа: http://molochnoe.ru/journal/sites/molochnoe.ru.journal/files/jrnl_publication/113-book-n.pdf.

36. Ладухин, А.Г. Новые виды удобрений для льна-долгунца / А.Г. Ладухин, А.Н. Налиухин // Молочнохозяйственный вестник. – 2013. – № 4 (12). – С. 25-33. Режим доступа: http://molochnoe.ru/journal/sites/molochnoe.ru.journal/files/jrnl_publication/124-book.pdf.

37. Налиухин, А.Н. Прогноз эффективности азотных удобрений на льне-долгунце в Северо-западном регионе России / А.Н. Налиухин // Инновационные технологии в сельском хозяйстве и лесном комплексе: теория и практика. Сб. научн. трудов. – Вологда-Молочное: ИЦ ВГМХА. – 2014. – С. 114-117.

38. Налиухин, А.Н. Влияние фосфорных удобрений на урожайность льна-долгунца в зависимости от агрохимических свойств дерново-подзолистых почв / А.Н. Налиухин // Агроэкологические основы применения удобрений в современном земледелии. Матер. 48-й международной научн. конф. – М.: ВНИИА. – 2014. – С. 155-158.

39. Налиухин, А.Н. Эффективность калийных удобрений на льне-долгунце в зависимости от гранулометрического состава и содержания подвижного калия в дерново-подзолистых почвах / А.Н. Налиухин // Агроэкологические основы применения удобрений в современном земледелии. Матер. 48-й международной научн. конф. – М.: ВНИИА. – 2014. – С. 158-160.

40. Налиухин, А.Н. Прогноз эффективности азотного удобрения на льне-долгунце в зависимости от содержания минерального азота в почве перед посевом / А.Н. Налиухин // «Молодежь и наука XXI века». Матер. IV Международной научно-практ. конф. Том II. – Ульяновск: УГСХА. – 2014. – С. 23-28.

41. Сычев, В.Г. Рекомендации по применению агрохимических средств в технологиях возделывания льна-долгунца (по опыту Вологодской области) / В.Г. Сычев, Г.Е. Мерзлая, Р.А. Афанасьев, О.Л. Янишевская, Н.И. Анищенко, Т.Н. Мешалкина, А.Н. Налиухин, Е.В. Шильниковская, Н.В. Веденева, Н.А. Кудряшова, О.В. Шадрин, Н.И. Нефедова, В.М. Веселов, Я.К. Абрамов, А.И. Пильгун. – М.: ВНИИА, 2012. – 32 с.

