

На правах рукописи

Имашев Ильдар Гарифуллович

**Оптимизация минерального питания проса на основе
почвенно-растительной диагностики
на светло-каштановой почве Саратовского Заволжья**

Специальность 06.01.04. – агрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Саратов – 2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»

Научный руководитель доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Белоголовцев Владимир Петрович

Официальные оппоненты: **Агафонов Евгений Васильевич**,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор
ФГБОУ ВО «Донской ГАУ», зав. кафедрой
«Агрохимия и садоводство»

Пронько Виктор Васильевич,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
НПО «Сила жизни», зав. отделом науки и
развития, г. Саратов

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «НИИСХ Юго-Востока»

Защита диссертации состоится _____ июля 2016 года в _____ часов на заседании диссертационного совета Д.220.061.05 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова» по адресу: 410012, Саратов, Театральная площадь, 1.

E-mail:dissovet01@sgau.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО
Саратовский ГАУ

Автореферат разослан

2016 года

Ученый секретарь
диссертационного совета

Нарушев Виктор Бисенгалиевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В условиях Саратовского Заволжья просо является одной из распространенных культур, от валовых сборов которой зависит стабильность производства зерна. Однако урожайность далека от потенциальных возможностей этой культуры.

Повышение урожайности проса и получение необходимого качества продукции в условиях снижающегося плодородия почв возможно только на основе научного применения удобрений и совершенствования основ комплексной диагностики минерального питания растений.

Особую актуальность приобретает определение таких нормативных параметров почвенной и растительной диагностики для оптимизации минерального питания проса применительно к светло-каштановой почве Саратовского Левобережья как нормативы затрат действующего вещества удобрений на увеличение содержания в почве нитратного азота и подвижного фосфора на 1 мг в килограмме почвы в диагностируемом слое, а также оптимального содержания нитратного азота и подвижного фосфора, обеспечивающих планируемый уровень урожайности и нормативов затрат удобрения на изменение содержания общего азота и общего фосфора в растениях.

Степень разработанности проблемы. Вопросам разработки оптимизации минерального питания сельскохозяйственных культур на основе почвенно-растительной диагностики были посвящены работы А.Ю. Левицкого и А.А. Лесюковой (1935), Р.Н. Bray (1948), Н. Lundegadh (1951), З.И. Журбицкого (1963), К.П. Магницкого (1972), М.П. Чуб (1972, 1986, 1989), В.В. Церлинг (1976, 1978), Н.К. Болдырева (1983), Н.К. Болдырева, Е.А. Зверевой (1986), Е.А. Зверевой (1987), Н.К. Болдырева, Т.В. Азовцевой, В.А. Казарницкой (1990), Н.К. Болдырева, Е.А. Зверевой, В.П. Белоголовцева (1990), Ю.И. Ермохина (1990), В.В. Пронько (1990), Т.Я. Палагиной (1996), В.Н. Дерябина (2000), Н.А. Рыжова (2002), В.П. Белоголовцева (2002), И.Г. Аукиной (2008), Е.В. Агафонова (2014).

Однако вопросы комплексной почвенно-растительной диагностики минерального питания проса на светло-каштановых почвах до настоящего времени не изучались.

Цель исследований. Целью наших исследований являлось установление зональных показателей оптимального содержания в растениях проса общего азота и фосфора по фазам роста и развития, а также доступных форм питательных веществ в почве, обеспечивающих получение планируемых урожаев зерна с хорошими качествами и методов корректировки системы удобрения на основе комплексной почвенно-растительной диагностики минерального питания.

Задачи исследований:

1. Изучение влияния минеральных удобрений на урожай и качество проса.

2. Установление оптимальных уровней содержания в почве доступных форм питательных элементов, затрат удобрений для их достижения, а также взаимозависимостей уровней плодородия с урожаем с целью раннего прогнозирования урожайности и качества продукции.

3. Определение влияния удобрений на концентрацию основных элементов питания в растениях проса, установление индексов обеспеченности азотом и

фосфором и в связи с этим нахождение возможностей прогнозирования урожая и его качества.

4. Расчет коэффициентов использования растениями азота и фосфора из почвы и удобрений, определение выноса этих элементов с урожаем.

5. Проведение энергетической и экономической оценки систем удобрения, способствующих получению высокого и качественного урожая зерна проса.

Научная новизна. Впервые на светло-каштановой почве Саратовского Заволжья с использованием методов почвенной и растительной диагностики установлены оптимальные уровни содержания в почве и растениях элементов питания, обеспечивающих получение до 2,5 т/га высококачественного зерна проса, а также определены нормативы затрат действующего вещества удобрений для достижения этих уровней.

Установлены тесные корреляционные зависимости между содержанием в почве доступных форм азота и фосфора и урожайностью проса, а также между концентрацией этих элементов в растениях по фазам роста и развития и урожаем, что позволяет прогнозировать его величину и качество.

Проведены расчеты затрат удобрений на создание единицы урожая и коэффициентов использования питательных веществ из почвы и удобрений.

Теоретическая и практическая значимость работы.

В результате выявленных закономерностей в изменении агрохимических свойств светло-каштановой почвы под влиянием минеральных удобрений предложены методы расчета доз для систем удобрения и их корректировки на основании результатов анализов почвы, а также растений по фазам роста и развития, обеспечивающих оптимизацию условий минерального питания и получение запланированного уровня урожайности зерна проса.

Результаты исследований прошли производственную проверку в 2013 году в КФХ «Демус» и «Волкодав» Озинского района Саратовской области на общей площади 40 га, прибавки урожая зерна составили соответственно 0,65 и 0,62 т/га, или 115 и 91 % к расчётному.

Основные положения, выносимые на защиту:

- показатели продуктивности проса в условиях изменяющихся агрохимических свойств светло-каштановой почвы;
- закономерности изменения содержания подвижных форм питательных веществ в почве в результате применения минеральных удобрений;
- закономерности влияния минеральных удобрений на содержание основных элементов питания в урожае, показатели выноса их с урожаем;
- коэффициенты водопотребления проса;

- коэффициенты использования растениями азота и фосфора из почвы и удобрений;
- энергетическая и экономическая эффективность применения минеральных удобрений при возделывании проса.

Методология и методы исследований. Методология основана на использовании результатов ранее проведенных исследований. Теоретико-методологической основой являются современные научные способы закладки и проведения агрохимических полевых опытов, лабораторных анализов. В работе использовали экспериментальный, аналитический, статистический методы исследований.

Степень достоверности работы. Достоверность полученных результатов подтверждается использованием современных методик проведения опытов, необходимым объемом сопутствующих наблюдений и учётов, статистической обработкой экспериментальных результатов опыта.

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались на международных научно-практических конференциях: «Вавиловские чтения – 2011» (Саратов, 2011); «Вавиловские чтения – 2012» (Саратов – 2012); Состояние и перспективы инновационного развития АПК (Саратов – 2013); Проблемы и перспективы инновационного развития мирового сельского хозяйства (Саратов – 2013); «Вавиловские чтения-2013» (Саратов –2013) и ежегодных конференциях профессорско-преподавательского состава СГАУ (2011-2013)

Личный вклад соискателя состоит в разработке программы исследования, постановке и проведении полевого опыта, выполнении аналитических работ, анализе полученных результатов, их статистической, биоэнергетической и экономической оценке. Доля личного участия автора в проведении исследований составляет не менее 80%.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 8 печатных работ, в том числе 2 в реферируемых журналах по списку ВАК.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, 7 глав экспериментальной части, заключения, предложений производству, списка использованной литературы и приложений. Она изложена на 126 страницах компьютерного текста, включает 36 таблиц и 34 рисунка в основном тексте, 35 таблиц в приложении. Список использованной литературы включает 204 наименования, в том числе 8 иностранных авторов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Условия и методика проведения исследований

Для решения поставленных задач был проведен полевой опыт в условиях крестьянско-фермерского хозяйства «Седова А.В» Озинского района юго-восточной зоны Саратовского Левобережья

Объекты исследований: просо Саратовское 10 селекции НИИСХ Юго-Востока, почва светло-каштановая с содержанием гумуса в пахотном слое 2,34

– 2,38 %, нитратного азота к посеву – 10,3 – 11,6 мг/кг, подвижного фосфора – 13,3 – 14,3 мг/кг, обменного калия – 355 – 368 мг/кг, рН_{сол.} – 7,3 – 7,5.

Таким образом, почва характеризуется низким содержанием нитратного азота и подвижного фосфора и высоким обменного калия.

Изучение влияния минеральных удобрений на продуктивность проса проводили в полевом опыте в пятипольном зернопаропропашном севообороте:– пар – яровая пшеница – просо – подсолнечник – ячмень. Опыт включал 15 вариантов и выполнен в трехкратной повторности. Размещение повторений – сплошное, делянок – систематическое. Площадь каждой делянки – 120 м², учетной – 100 м².

Схема опыта:

1. контроль, 2. N30, 3. N60, 4. P30, 5. P60, 6. N30P30, 7. N30P60, 8. N60P30, 9. N60P60, 10. N90P60, 11. N60P60K30, 12. Расчетный на 2,5 т/га, 13. P10 в рядок при посеве, 14. P20 в рядок при посеве, 15. P30 в рядок при посеве

В расчётном варианте дозы удобрений были следующие: 2011 г.– N57P46; 2012 г.– N53P52; 2013 г.– N55P43.

При проведении опытов использовались: аммиачная селитра (34,5% д.в.), суперфосфат гранулированный (26% д.в.), хлористый калий(60% д.в.), аммофос (10:42).

Согласно схеме опыта внесение удобрений проводилось под основную отвальную обработку – вручную и в рядки при посеве сеялкой СЗП-3,6.

Агротехника возделывания общепринятая для Саратовского Левобережья. Основная обработка почвы - отвальная на глубину 25–27 см. Обработка почвы проводилась плугом ПЛН-4-35, агрегатируемым с ДТ-75М, ранневесеннее боронование зубовыми боронами ЗБСС - 1,0. Две предпосевные культивации: первая на глубину 6–8 см., вторая на глубину 4–6 см культиватором КПС-4,0. Посев осуществлялся сеялкой СЗП-3,6 рядовым способом с междурядьями 15 см, норма высева составляла 3,2 млн. всхожих семян на 1 га, глубина заделки семян 4–6 см. После посева выполнялось прикатывание кольчатыми катками ЗККШ - 6.

В ходе полевого опыта были проведены следующие исследования и наблюдения:

Фенологические наблюдения: всходы, кущение, трубкование, вымётывание метелки, цветение, полная спелость.

Наблюдения за ростом и развитием растений проводили в двух несмежных повторениях методом глазомерной оценки. За начало наступления той или иной фазы принималось вступление в неё 15% растений на делянке, полная фаза - при ее наличии у 75% растений.

Для определения содержания доступных форм питательных элементов в почве отбирались образцы почвы в двух несмежных повторностях в десяти точках в слое 0-30 см. Определение содержания нитратного азота проводилось по Грандваль-Ляжу колориметрическим методом с дисульфофеноловой кислотой, подвижные соединения фосфора и калия - по методу Мачигина согласно ГОСТ 26205-9.

Для анализа химического состава растений использовали пробы, взятые при определении сухого вещества. Анализировали в двух параллельных навесках. Сжигание производили по методу Гинзбург в модификации Щегловой. После озоления в образцах определяли общий азот (с отгонкой по Кьельдалю), общий фосфор (по Труогу - Мейеру) и валовой калий на пламенном фотометре (В.Г. Минеев, 2001).

Учет урожая – сплошной поделяночный с приведением к 14% влажности и 100% чистоте. Анализ структуры урожая и продуктивности растений - по методике Госсортсети (1965, 1971).

Определялось качество зерна: масса 1000 семян – по ГОСТ - 12042-80, «сырого» протеина путём перемножения показателя общего азота на коэффициент 6,25, содержание крахмала – по ГОСТ 0845-76, содержание жира – методом обезжиренного остатка по А.Н. Лебеянцеву и С.В. Рушковскому (1957).

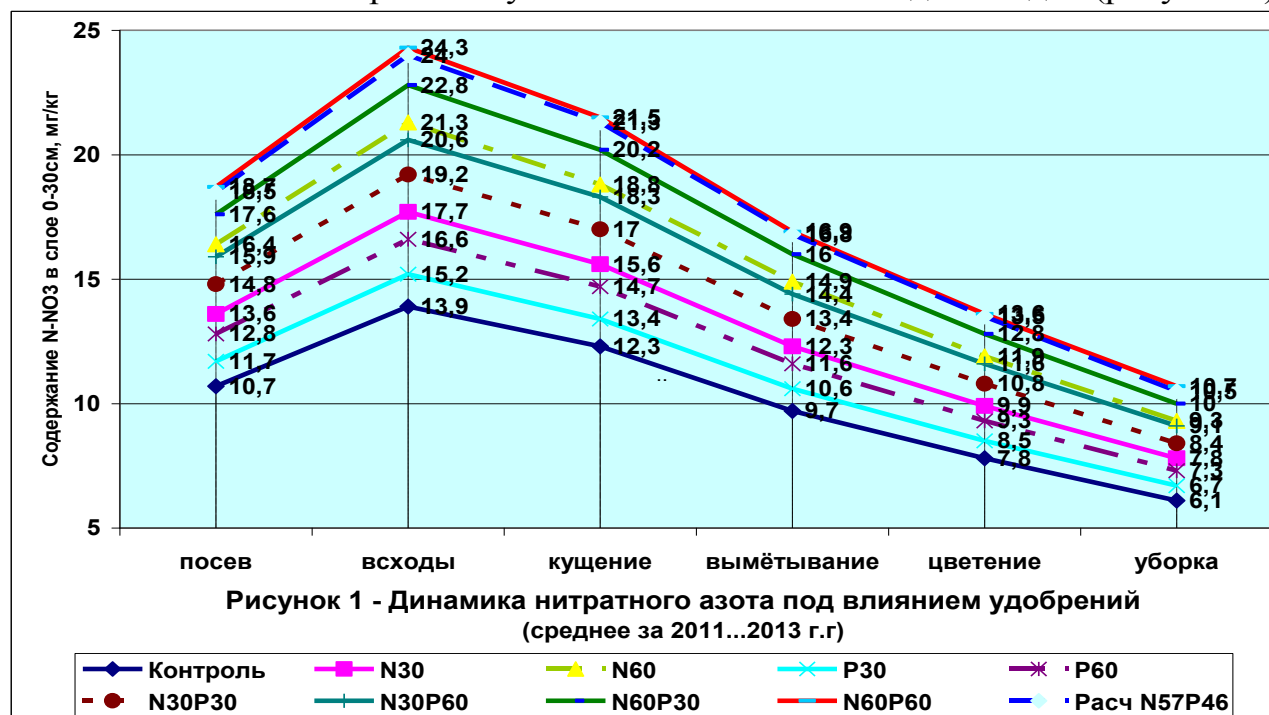
Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась по программам дисперсионного и регрессионного анализов на персональном компьютере и программам ВЦ НИИСХ Юго-Востока.

Учет экономической и энергетической эффективности проводили по «Инструкции и нормативам по определению экономической и энергетической эффективности применения удобрений» (1987) в ценах 2015 года. Расчет энергетической эффективности применения удобрений проводился по методике В.Г. Минеева (2004).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Влияние удобрений на агрохимические свойства почвы

Наши исследования показали, что содержание нитратного азота в почве в слое 0-30 см во всех вариантах увеличивалось от посева до всходов (рисунок 1).



Установлено, что содержание нитратного азота в почве увеличивалось пропорционально внесенным дозам азотных удобрений. Между данными показателями выявлена тесная корреляционная зависимость, которая описывается уравнением регрессии $Y=10,72+0,095N$ при $R^2 = 0,989$, где: Y – количество нитратного азота в почве, мг/кг; N – доза азота удобрений, кг/га действующего вещества; R^2 – коэффициент детерминации.

В среднем за годы исследований концентрация $N-NO_3$ в слое 0–30 см повышалась на 1 мг/кг почвы от внесения 5,8–8,7 кг действующего вещества азотных удобрений на фоне возрастающих доз фосфорных, при внесении одного азотного удобрения норматив составлял уже 10,3–10,5 кг/га. Между урожайностью зерна проса и содержанием нитратного азота в почве перед посевом имеется тесная положительная взаимосвязь, которая описывается уравнением регрессии второго порядка: $Y= 0,424 + 0,151N - 0,003N^2$ при $R= 0,936 \pm 0,097$, $t=9,613^*$, где: Y – урожайность, т/га; N – содержание нитратного азота в почве, мг/кг в слое 0–30 см. В последующие фазы также отмечена тесная положительная взаимосвязь.

На основании теоретических кривых графиков зависимости урожайности проса от содержания в почве нитратного азота в разные фазы роста и развития растений определены оптимальные уровни его содержания для достижения запланированного урожая зерна (таблица 1).

Таблица 1 – Оптимальные уровни содержания нитратного азота, мг/кг в слое 0–30 см, обеспечивающие достижение планируемого урожая (среднее за 2011–2013 гг.)

Планируемая урожайность, т/га	Сроки отбора почвы и фазы развития проса		
	перед посевом	всходы	кущение
1,0	5,8	7,1	6,2
1,5	9,2	11,5	10,0
2,0	14,5	18,3	16,2
2,5	22,5	29,5	26,3

При содержании нитратного азота ниже требуемого уровня, соответствующего планируемой урожайности, расчет доз азотных удобрений следует проводить по методу доведения до оптимума (МДОП). Для этого используется формула ВИУА: $D = (N_{\text{опт.}} - N_{\text{исх.}}) * H$, где D – расчетная доза азота удобрений, кг/га действующего вещества, $N_{\text{исх.}}$ – исходное содержание $N-NO_3$ в слое 0–30 см, мг/кг, $N_{\text{опт.}}$ – содержание нитратного азота в слое 0–30 см, обеспечивающее получение запланированного урожая, мг/кг почвы, H – норматив затрат действующего вещества удобрения на увеличение содержания нитратного азота на 1 мг в килограмме почвы.

В опыте установлено, что при совместном внесении азотных и фосфорных удобрений этот норматив составил в зависимости от доз и

соотношений азота и фосфора, в среднем по годам исследований 5,8–8,7 кг/мг, при внесении только одного азотного удобрения – 10,3–10,5 кг/мг.

Установлена пропорциональная взаимосвязь между дозами фосфорных удобрений и содержанием подвижного фосфора в почве, которая в период посева описывается уравнением регрессии $Y=13,86 + 0.026P$ при $R^2=0,979$, где: Y – содержание подвижной P_2O_5 , мг/кг почвы; P – доза фосфора удобрения, кг/га д.в.; R^2 – коэффициент детерминации. Отдельное внесение фосфорного удобрения в дозе 30 кг/га действующего вещества способствовало увеличению содержания подвижного фосфора в почве перед посевом на 3,2 мг/кг. Расчет показывает, что для повышения содержания доступного фосфора на 1 мг/кг в слое 0-30 см светло-каштановой почвы требуется внести 9,4–9,8 кг/га д.в. удобрения. При совместном внесении фосфорных и азотных удобрений норматив затрат фосфора на увеличение содержания подвижной P_2O_5 снижается и составляет в зависимости от доз азота и фосфора 6,5–8,9 кг/мг.

В исследованиях установлена тесная положительная зависимость между содержанием подвижного фосфора в почве во все сроки определения и урожайностью проса, что позволило установить оптимальные уровни содержания подвижного фосфора в почве для обеспечения планируемой урожайности (таблица 2).

Чтобы получить запланированный урожай в случае содержания фосфора ниже оптимального уровня необходимо довести его до такового внесением удобрений. Для этого надо иметь норматив затрат удобрения для повышения содержания подвижного фосфора на 1 мг/кг почвы в расчётном слое.

Таблица 2 – Оптимальные уровни содержания подвижного фосфора, мг/кг в слое 0–30 см, обеспечивающие достижение планируемого урожая (среднее за 2011– 2013 гг.)

Планируемая урожайность, т/га	Сроки отбора почвы и фазы развития проса		
	перед посевом	всходы	кущение
1,0	6,9	7,4	7,2
1,5	10,9	11,8	11,5
2,0	17,0	18,6	17,2
2,5	26,0	29,0	27,6

Выявленные закономерности и взаимосвязи между содержанием доступных растениям форм питательных веществ в почве и урожайностью проса, а также установленные уровни оптимального содержания нитратного азота и подвижного фосфора в диагностируемом слое почвы и нормативы затрат удобрений для их достижения дают практическим работникам возможность прогнозировать и, внося удобрения, получать запланированные урожаи.

Содержание азота и фосфора в растениях

Результаты исследований показали, что применение различных доз и соотношений азотно-фосфорных удобрений, в значительной степени изменяя эффективное плодородие почвы, положительно влияло на вариабельность содержания азота и фосфора в растениях проса.

При анализе динамики азота в биомассе проса в течение вегетации установлено максимальное его содержание в начальные фазы со снижением к уборке.

Удобрения способствовали повышению концентрации общего азота в биомассе проса уже с начальных фаз роста и развития. Преимущественное влияние на эту картину оказывали азотные удобрения, повышая содержание азота в фазу кущения на 0,13 – 0,22% (абсолютных) от применения N30–N60. Фосфорные удобрения также изменяли этот показатель, но уже в меньшей степени, повышая на 0,05– 0,10 % от применения P30–P60.

Результаты регрессионного анализа показывают, что между концентрацией общего азота в растениях проса и содержанием нитратного азота в почве существует тесная корреляционная зависимость, описываемая уравнением: в фазу кущения от содержания N-NO₃ перед посевом – $Y=2,586+0,039N$ при $R^2=0,944$, где: Y– содержание общего азота в растении, %; N – содержание нитратного азота в почве, мг/кг почвы; R² – коэффициент детерминации. В другие фазы теснота зависимости также достаточно высокая, что позволяет прогнозировать содержание азота в продукции задолго до уборки и, при необходимости, корректировать азотное питание растений некорневой подкормкой.

Установлена также тесная математическая взаимосвязь урожайности зерна проса от содержания общего азота в растениях по фазам роста и развития, что выражается уравнениями:

$$\text{в кущение} - Y = 5,457 - 2,331N + 0,912 N^2; R^2=0,886$$

$$\text{в трубкование} - Y = 5,341 - 2,882N + 0,811N^2; R^2=0,647$$

где: Y – урожайность, т/га, N – содержание общего азота, %; R²– коэффициент детерминации. Построенные на основе этих уравнений графики позволили установить оптимальные уровни содержания общего азота в растениях, обеспечивающие получение запланированных величин урожайности (таблица 3).

Таблица 3 – Оптимальное содержание общего азота в растениях, обеспечивающее получение запланированной урожайности зерна (среднее за 2011 – 2013 гг.)

Планируемая урожайность, т/га	Содержание азота, в % на абс. сухое вещество	
	кущение	трубкование
1,0	2,82	2,02
1,2	2,83	2,03
1,6	2,97	2,11
1,8	3,08	2,15
2,0	3,12	2,22
2,5	3,45	2,38

Для доведения содержания общего азота до требуемого для определенного уровня урожайности необходимо внести азотное удобрение с учетом норматива затрат его на изменение содержания на 0,01%. В наших опытах этот норматив установлен: для внесения в фазу кущения – 2,3 – 2,7 кг/га, в фазу трубкования – 3 – 4 кг/га действующего вещества. Из приведенных значений затрат видно, что наиболее экономное расходование удобрения будет в начальные фазы роста и развития растений.

Анализ динамики общего фосфора в биомассе проса по основным фазам роста и развития позволил установить максимальное его содержание в начальные фазы со снижением к уборке.

Внесенные удобрения способствовали повышению концентрации общего фосфора в биомассе проса уже с начальных фаз роста и развития. Преимущественное влияние на этот показатель оказывали фосфорные удобрения – повышение содержания фосфора от дозы P60 в фазу кущения составило 0,27% (абсолютных). Азотные удобрения в дозе N60 также изменяли этот показатель, но уже в значительно меньшей степени – повышение на 0,08 %.

Результаты корреляционно-регрессионного анализа показывают, что между концентрацией общего фосфора в растениях проса и содержанием подвижного фосфора в почве существует тесная корреляционная зависимость, описываемая уравнением регрессии: в фазу кущения от содержания подвижной P_2O_5 перед посевом – $Y = 0,415 + 0,036P$ при $R^2 = 0,873$, где: Y – содержание общего фосфора в растении, %; P – содержание подвижного фосфора, мг/кг почвы; R^2 – коэффициент детерминации. В другие фазы теснота связи также достаточно высокая, что позволяет прогнозировать содержание фосфора в продукции задолго до уборки и, при необходимости, корректировать фосфорное питание растений внесением удобрений.

Определена также тесная математическая зависимость величины урожайности зерна проса от содержания общего фосфора в растениях по фазам роста и развития, что выражается уравнениями второго порядка:

$$\text{в кущение} - Y = 4,917 - 7,462P + 4,446P^2; R = 0,825 \pm 0,157$$

$$\text{в трубкование} - Y = 4,263 - 9,238P + 7,663P^2; R = 0,824 \pm 0,157$$

где: Y – урожайность, т/га; P – содержание общего фосфора, % на сухое вещество; R – коэффициент корреляции. Построенные на основе этих уравнений графики позволили установить оптимальные уровни содержания общего фосфора в растениях, обеспечивающие получение запланированных величин урожайности (таблица 4).

Для доведения содержания общего фосфора до требуемого для определенного уровня урожая необходимо внести фосфорное удобрение с учетом норматива затрат его на изменение содержания на 0,01%. В наших опытах этот норматив установлен: для внесения в фазу кущения – 20 – 22 кг/га, в фазу трубкования – 27–30 кг/га д. в.

Таблица 4 – Оптимальное содержание общего фосфора в растениях, обеспечивающее получение запланированной урожайности зерна (среднее за 2011 – 2013 гг.)

Планируемая урожайность, т/га	Содержание фосфора, в % на абс. сухое вещество	
	кущение	трубкование
1,0	0,56	0,42
1,2	0,61	0,44
1,6	0,76	0,56
1,8	0,85	0,62
2,0	1,03	0,75
2,5	1,36	1,02

Урожайность и качество зерна проса

Результаты исследований показали, что азотные и фосфорные удобрения при отдельном внесении оказывали неодинаковое воздействие на величину прибавки урожая 0,29 и 0,14 т/га от N30 и P30 соответственно при урожайности на контроле 1,62 т/га (таблица 5).

Таблица 5 – Влияние удобрений на урожайность зерна проса

Варианты	Урожайность, т/га				Прибавка	
	годы исследований				т/га	в % к контролю
	2011	2012	2013	среднее		
Контроль	1,48	1,64	1,73	1,62		
N30	1,74	1,90	2,09	1,91	0,29	17,9
N60	1,87	2,04	2,17	2,03	0,41	25,1
P30	1,62	1,78	1,88	1,76	0,14	8,6
P60	1,65	1,81	1,94	1,80	0,18	11,1
N30P30	2,02	2,16	2,30	2,16	0,54	33,3
N60P30	2,12	2,26	2,41	2,26	0,64	39,6
N30P60	2,06	2,21	2,33	2,20	0,58	35,9
N60P60	2,22	2,33	2,47	2,34	0,72	44,4
N90P60	2,11	2,26	2,38	2,25	0,63	38,8
N55P47, расч. на 2,5 т	2,23	2,34	2,48	2,35	0,73	45,1
N60P60K30	2,24	2,35	2,49	2,36	0,74	45,6
P10	1,67	1,76	1,86	1,76	0,14	8,8
P20	1,68	1,83	1,93	1,81	0,19	11,9
P30	1,70	1,83	1,94	1,82	0,20	12,6
Fф	14,3	122,1	452,6		482,3	
Fг	3,74	3,74	3,74		3,74	
HCP ₀₅	0,023	0,020	0,017		0,034	

Совместное применение азотных и фосфорных удобрений в различной степени обеспечивало прибавку урожая в зависимости от доз и соотношений азота и фосфора. Удобрения в различных сочетаниях азота и фосфора увеличивали прибавку на 0,54–0,74 т/га. Внесение удобрений в расчете на урожайность 2,5 т/га обеспечило в среднем за три года урожайность с 94% вероятностью.

Результаты исследований показали, что на светло-каштановой почве с приведенной выше обеспеченностью основными питательными веществами азотное, фосфорное и азотно-фосфорные удобрения в достоверной степени способствовали не только увеличению урожайности зерна проса, но также изменяли показатели его качества.

Содержание протеина в зерне в зависимости от доз и видов удобрений в среднем за три года увеличивалось на 0,19 – 1,67% (абсолютных) при значении на контроле 11,2%.

Между содержанием протеина в зерне и содержанием нитратного азота в почве перед посевом выявлена тесная положительная взаимосвязь, описываемая уравнением регрессии: $P=10,727+0,012N+0,004N^2$; $R=0,975\pm 0,061$, $t=15,876^*$, где: P – содержание протеина в % на абсолютно сухое вещество; N – содержание нитратного азота, мг/кг почвы в слое 0–30 см. Влияние подвижного фосфора также было положительным, однако несколько меньше.

Улучшение азотного питания, повышая содержание протеина, снижало крахмалистость с 63,0% в контрольном варианте до 60,64% в варианте N90P60.

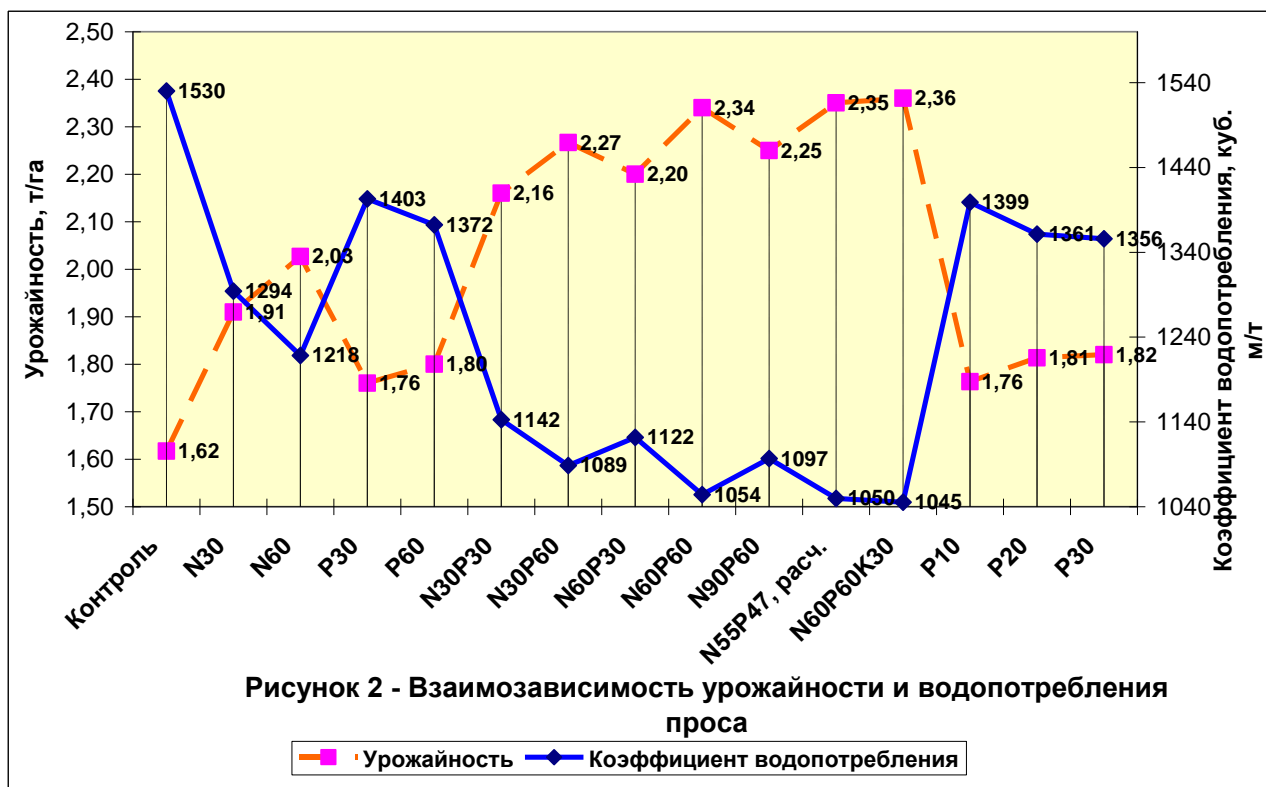
Фосфорное удобрение и при отдельном и совместном с азотным внесении повышало содержание крахмала в зерне. При совместном внесении азота и фосфора уменьшение крахмалистости было заметно также от азотных удобрений. По годам исследований выявлено наименьшее содержание крахмала в 2012 году, когда содержание протеина в зерне было более высоким, чем в 2011 и 2013 годах.

Влияние азота и фосфора удобрений и их парных сочетаний на содержание «сырого» жира в зерне было аналогично их действию на показатель крахмала

Водопотребление проса

Результаты исследований показали, что все удобрения в разных дозах и соотношениях, повышая урожайность проса, вели к снижению коэффициента водопотребления – КВ. Между коэффициентами водопотребления и урожайностью установлена обратная зависимость (рисунок 2).

Так, если удобренные растения расходовали на создание одной тонны зерна и соответствующее количество соломы в среднем за три года исследований 1530 кубометров воды, то внесение одного фосфорного удобрения в дозе 30 кг/га снижало коэффициент водопотребления (Кв) в среднем за три года на 8% по сравнению с контролем, азотное удобрение в дозе N30, увеличивая прибавку урожая, уменьшало этот показатель на 15%.



Совместное внесение азотно-фосфорного удобрения в дозах N60P60 уменьшало коэффициент водопотребления на 31%. Такой же показатель отмечен и в расчётном варианте.

Вынос питательных веществ и коэффициенты использования азота и фосфора из почвы и удобрений

В наших исследованиях установлено, что расход азота в расчёте на 1 тонну зерна и соответствующее количество соломы увеличивался под влиянием азотных и фосфорных удобрений (таблица 6).

Однако если под влиянием азота удобрений его вынос увеличивался на 5,9–7,8 % (относительных) по сравнению с контролем, то внесение фосфора практически не повышало вынос азота с единицей урожая.

Между урожайностью зерна проса и выносом азота и фосфора с единицей продукции выявлена положительная зависимость, описываемая уравнениями

Таблица 6 – Вынос азота, фосфора и калия с единицей урожая проса (среднее за 2011 – 2013 г.г.)

Варианты	Азот		Фосфор		Калий	
	кг/т	прибавка, т	кг/т	прибавка, т	кг/т	прибавка, т
1	2	3	4	5	6	7
Контроль	33,4		9,8		35,8	
N30	35,4	2,0	10,0	0,02	37,3	1,5
N60	36,0	2,6	10,3	0,05	37,6	1,8

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7
P30	33,4	0,0	11,3	0,15	35,4	-0,4
P60	33,8	0,4	11,8	0,20	35,1	-0,07
N30P30	35,0	1,6	11,7	0,19	36,3	0,5
N30P60	35,4	2,0	12,5	0,27	36,3	0,5
N60P30	36,6	3,2	2,1	0,23	37,5	1,7
N60P60	37,2	3,8	12,9	0,31	38,1	2,3
N55P47.расч.	36,8	3,4	12,7	0,29	37,6	1,8
N90P60	38,5	5,1	13,3	0,35	39,3	3,5
N60P60K30	37,4	4,0	13,0	0,32	38,7	2,9
P10	33,5	0,1	10,5	0,07	34,9	-0,9
P20	33,6	0,2	11,0	0,12	35,3	-0,5
P30	34,0	0,6	11,4	0,16	35,4	-0,4
Fф		117,9		76,4		104,2
Fт		3,74		3,74		3,74
HCP ₀₅		0,023		0,016		0,028

регрессии:

$Y = -35,89 + 19,89N$ при $R^2 = 0,902$ и $Y = -0,158 + 19,93P$ при $R^2 = 0,623$, где: Y – урожайность зерна, т/га, N и P – вынос азота и фосфора с единицей урожая, кг/т.

По приведенным уравнениям построены графики, по которым определены оптимальные уровни выноса азота и фосфора с единицей урожая для определенной величины урожайности (таблица 7).

Таблица 7 – Оптимальные уровни выноса питательных веществ для расчета доз удобрений, обеспечивающих планируемую урожайность (среднее за 2011 – 2013 гг.)

Планируемая урожайность, т/га	Вынос с 1 т зерна и соответствующего количества соломы, кг	
	азот	фосфор
1,0	30,7	6,2
1,2	31,3	6,9
1,4	31,9	7,7
1,8	33,2	9,4
2,0	34,1	10,4
2,5	38,5	13,6

Для расчета доз удобрений методом элементарного баланса следует использовать вынос азота и фосфора с 1 тонной зерна, соответствующий планируемой урожайности.

Расчет коэффициентов использования удобрений (КИУ) разностным методом показал, (при расчёте коэффициентов в вариантах с парным сочетанием удобрений из выноса вычитались значения, соответствующие вариантам с внесением только азота и фосфора), что увеличение доз азотных удобрений на неизменных фосфатных фонах ведет к уменьшению коэффициента использования азота удобрений. Так, повышение дозы азота с 30 кг/га до 60 на фоне Р30 снижало этот показатель с 45% до 31,7%. Однако внесение N60 на фоне Р30 обеспечивало коэффициент использования азота на 8,8% больше по сравнению с дозой N60, но без фосфатного фона. То есть, при внесении азотных удобрений совместно с фосфорными коэффициент их использования увеличивался. Это указывает на необходимость совместного внесения азотных и фосфорных удобрений в целях более экономного их применения. Поскольку почва имела низкое исходное содержание нитратного азота, то коэффициент его использования на контрольном варианте был достаточно высокий -102%. Коэффициенты использования фосфора из удобрений при внесении их без азота в дозах Р30 и 60 находились в пределах 14 и 9% соответственно.

Использование подвижного фосфора во всех вариантах колебалось в пределах 25,2% в варианте Р60 до 36,1% в варианте N60Р30.

Энергетическая и экономическая эффективность применения удобрений под просо

Исследования показали, что во всех вариантах опыта биоэнергетический КПД (энергоотдача) выше единицы, что говорит об энергетической эффективности применяемых удобрений (рисунок 3).

Наиболее высокая энергоотдача (18,8) определена в варианте с применением фосфорного удобрения в дозе 10 кг/га в рядок при посеве.

Внесение азота в дозе 30 кг/га действующего вещества с парными сочетаниями фосфора в дозах Р30-60 дает биоэнергетический коэффициент 3,1–3,3 единицы.

Увеличение дозы азотного удобрения до 60 кг/га действующего вещества на фоне различных доз фосфора снижает энергоотдачу до 1,8 – 2,0 единицы, но при этом возрастает урожайность.

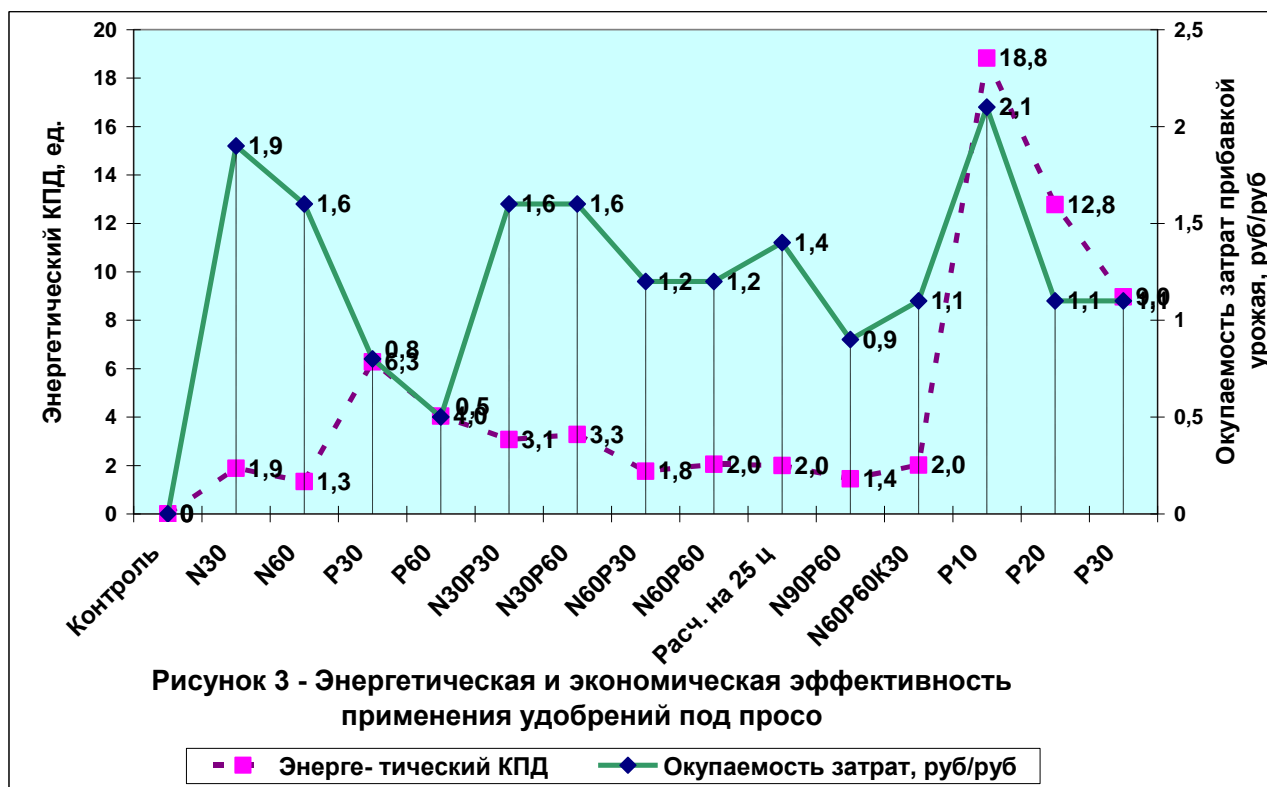
Применение минеральных удобрений в различных дозах и соотношениях при выращивании проса на светло-каштановой почве показывает различный по величине степени экономический эффект.

При совместном применении азотного и фосфорного удобрений наибольший условно чистый доход получен в варианте N30Р60 - 2883 руб./га при уровне рентабельности - 65%. Близко к нему были варианты N30Р30 и расчётный на 2,5 т/га - соответственно 2366 и 2681 руб./га чистого дохода.

Повышение дозы азота до 90 кг/га на фоне Р60 снизило прибавку урожайности зерна на 0,09 т/га по сравнению с вариантом N60Р60 и значительно увеличило затраты на применение удобрений, что привело к убытку в 1275 руб./га.

Следует также отметить, что применение калийного удобрения, незначительно увеличившее прибавку урожайности зерна, но повысившее затраты на 816 руб./га, снизило условно чистый доход с 1493 руб./га в варианте N60P60 до 847 руб./га в варианте с внесением дополнительно калия в дозе 30 кг/га д.в.

Убыточным оказалось применение одного фосфорного удобрения под основную обработку почвы, в то время как внесение суперфосфата в рядок при посеве было экономически выгодным, особенно дозы P10 с уровнем рентабельности 113%. Наибольшую рентабельность показал вариант с внесением одного азотного удобрения в дозе 30 кг/га действующего вещества - 122%.



В этом варианте определена и самая высокая окупаемость затрат: 2,22 рубля на рубль затрат. Близкая к этому варианту окупаемость получена в варианте с рядковым фосфорным удобрением в дозе P10 – 2,13 руб./руб.

Заключение

Действие азота, как при отдельном внесении, так и в сочетании с фосфором, удлиняло вегетационный период на 3–8 дней по сравнению с контролем. При отдельном внесении фосфорные удобрения ускоряли развитие проса в среднем за 3 года на 1-5 дней.

Минеральные удобрения во всех вариантах опыта снижали полевую всхожесть проса. Наиболее высокое снижение по сравнению с контролем в среднем за 3 года отмечено в вариантах N90P60 и N60P60 (5,6 и 4,4% соответственно). Однако минеральные удобрения положительно влияли на сохранность растений к уборке.

Улучшение режима питания растений проса под влиянием удобрений способствовало увеличению высоты растений, значительному усилению нарастания сухой биомассы растений, сохранности их к уборке, что в конечном итоге привело к повышению урожая зерна проса.

Во всех удобренных вариантах урожайность была достоверно выше контрольного варианта. Отмечено преимущественное влияние на этот показатель азотного удобрения, внесенного как отдельно, так и в сочетании с фосфорным. Прибавки урожая зерна в среднем за три года составляли 0,29 – 0,74 т/га. Повышение урожайности происходило за счёт увеличения сохранности растений в удобренных вариантах, продуктивной кустистости и количества зёрен в метёлке. Некоторое положительное влияние оказала и масса 1000 семян.

Все удобренные варианты показали достаточно высокую окупаемость 1 кг действующего вещества удобрений натуральной прибавкой урожая, которая колебалась в пределах 3,0 – 9,7 кг зерна. При одностороннем внесении удобрений более высокая окупаемость была в вариантах с азотным удобрением.

Наибольшая окупаемость отмечена в варианте с рядковым фосфорным удобрением в дозе P10 (14 кг/кг).

Минеральные удобрения изменяли качество зерна проса. Азотное удобрение, внесенное как отдельно, так и в сочетании с фосфорным, на 0,19–1,67% против контроля повышало содержание протеина, снижая концентрацию крахмала на 0,15 – 2,36% против контроля. Содержание жира в различной степени увеличивалось от всех удобрений.

Наибольший выход зерна в среднем за три года исследований получен в вариантах с одним фосфорным удобрением, как в вариантах с основным внесением, так и в рядок при посеве.

Повышая урожайность, удобрения способствовали более экономному расходованию влаги на создание единицы урожая. Экономия воды составляла по разным вариантам 8–31%, что важно в условиях засушливого Заволжья.

Обнаружено достоверное последствие внесенных под просо средних доз фосфорных и азотных удобрений на культуре подсолнечника, где прибавка урожая была в пределах 0,04 – 0,16 т/га с наибольшим эффектом от фосфорного удобрения.

В динамике нитратного азота в почве под посевами проса максимум накопления N-NO₃ установлен в фазу всходов.

Содержание нитратного азота в диагностируемом слое почвы увеличивалось пропорционально внесенным дозам азотных удобрений. Установлено также положительное влияние фосфорных удобрений на изменение этого показателя на почвах с низкой обеспеченностью подвижным фосфором.

Нормативы затрат азота удобрений на увеличение содержания N-NO₃ в почве на 1 мг/кг почвы перед посевом установлены в 10,3–10,5 кг/га при внесении одного азотного удобрения. Совместное применение азотных и

фосфорных удобрений способствует снижению норматива затрат азота удобрений на увеличение содержания N-NO₃ в почве до 5,8 – 8,7 кг д.в. на 1 га.

Между урожайностью проса и содержанием нитратного азота в почве установлена положительная зависимость, выражаемая уравнениями регрессии второго порядка. Это позволяет прогнозировать величину урожайности. Определены оптимальные уровни содержания нитратного азота в почве по основным фазам роста и развития культуры, которые можно использовать для расчёта планируемых величин урожайности и корректировки системы удобрения.

В динамике подвижного фосфора в почве отмечено увеличение его содержания от посева к фазе всходов во всех вариантах опыта.

Содержание подвижной P₂O₅ в диагностируемом слое почвы увеличивается пропорционально внесённым дозам фосфорных удобрений. Установлено также положительное влияние азотных удобрений на изменение этого показателя.

Для увеличения содержания подвижного фосфора на 1 мг/кг почвы перед посевом норматив затрат фосфорного удобрения равен 9,4–9,8 кг/га действующего вещества. При совместном применении фосфорных и азотных удобрений норматив установлен в пределах 6,5–8,9 кг/га.

Между урожайностью проса и содержанием в почве подвижного фосфора имеется тесная корреляционная зависимость, выражаемая уравнениями регрессии второго порядка, что позволяет прогнозировать величину урожайности.

Установленные оптимальные уровни содержания подвижной P₂O₅ в почве по основным фазам роста и развития культур для запланированных величин урожайности позволяют экономно расходовать удобрения.

Выявлены тесные корреляционные связи между урожаем зерна проса и концентрацией общего азота и общего фосфора в растениях по фазам роста и развития, что позволяет прогнозировать его величину и качество и управлять режимом минерального питания с целью достижения планируемого результата.

Для корректировки содержания азота и фосфора в растениях в целях доведения до оптимального на основе результатов полевых опытов рассчитаны нормативы затрат действующего вещества азотных и фосфорных удобрений для повышения концентрации общего азота на 0,1% составляет при внесении одного азотного удобрения: в кущение 23 – 27 кг/га, при совместном внесении азота и фосфора 12–20кг/га. Для увеличения концентрации общего фосфора на 0,01% норматив составляет: в фазу кущения при внесении одного фосфорного удобрения – в среднем 20 – 22 кг/га, в фазу трубкования 27 – 30 кг/га, при совместном внесении фосфора и азота норматив в кущение 11,5 – 20, в трубкование – 15,8 –27 кг/га.

На светло-каштановой почве с приведенной выше обеспеченностью основными питательными элементами азотное, фосфорное и азотно-фосфорные удобрения в достоверной степени способствовали не только увеличению урожая проса, но также изменяли его химический состав. Установлено преимущественное воздействие азотного удобрения, внесённого как отдельно,

так и совместно с фосфорным, на содержание общего азота в биомассе урожая проса, как в зерне, так и в соломе. Содержание азота увеличивалось пропорционально внесенным дозам удобрений. На содержание общего фосфора в зерне и соломе проса положительное влияние оказало как фосфорное, так и азотное удобрение. Содержание калия в соломе в три раза выше, чем в зерне и увеличивалось под влиянием удобрений.

Все удобрения, изменяя химический состав растений и повышая урожайность, способствовали увеличению, как общего выноса основных элементов питания с урожаем, так удельного расхода с единицей урожая.

Установлены оптимальные параметры выноса основных питательных элементов на планируемую урожайность, которые можно использовать при расчете доз удобрений балансовым методом.

Рассчитаны коэффициенты использования азота и фосфора просом из почвы и удобрений. Нитратный азот из почвы по разным вариантам усваивался растениями в пределах 83–103%. Наиболее высокий коэффициент определен в вариантах с рядковым фосфорным удобрением.

Коэффициенты использования подвижного фосфора изменялись в значениях от 28% в контрольном варианте до 36,1% в варианте N60P30.

Степень использования азота удобрения находилась в пределах от 28,7% в варианте N90P60 до 57,3% в варианте N30P60. Увеличение дозы азота на неизменном фосфатном фоне снижало коэффициент использования азота удобрения. Степень использования фосфора из удобрения изменялась от 8,3% в варианте P60 до 20,0% в варианте N60P30.

Применение азотного и фосфорного удобрений как самостоятельно, так и в сочетаниях энергетически эффективным было во всех вариантах опыта. Наибольший энергетический КПД (18,8) показало применение одного фосфорного удобрения, внесенного как под основную обработку почвы, так и в рядки при посеве. В других вариантах энергоотдача была в пределах 1,3–12,8 единиц. Снижение энергетической эффективности связано с увеличением затрат с повышением доз удобрений и особенно азотных.

Наиболее рентабельным было применение одного азотного удобрения в дозе 30 кг/га действующего вещества –122%. Фосфорное удобрение в дозах P30 и P60, внесенное под основную обработку почвы, при высоких затратах на применение и небольших прибавках урожая зерна, показало отрицательный экономический результат.

Предложения производству

Для оптимизации минерального питания проса на светло-каштановой почве Заволжья рекомендуем:

- Применять минеральные удобрения под просо необходимо дифференцированно на основе результатов комплексной почвенно-растительной диагностики с использованием метода доведения содержания питательных веществ в почве и концентрации азота и фосфора в растениях до оптимального (МДОП и МДОЛ ВИУА), соответствующего определенной величине урожайности.

- Обеспечить оптимальное содержание элементов питания в почве перед посевом для планируемой урожайности 2,5 т/га: нитратного азота – 22 мг/кг в слое 0-30 см, фосфора – 26 мг/кг в слое 0-30 см.

- Расчет доз удобрений производить по нормативам затрат удобрений на повышение содержания в почве на 1 мг/кг перед посевом: азотные – 10,3–10,5 кг д.в., фосфорные – 9,4 – 9,8 кг/га д.в.

- При проведении подкормок с целью доведения содержания азота и фосфора в растениях до оптимального для заданного уровня урожайности расчет доз производить по нормативам затрат удобрений на повышение содержания этих элементов питания на 0,01% в фазу кушения: для азотных удобрений – 2,3–2,7 кг/га и фосфорных – 20–22 кг/га действующего вещества.

- При расчете доз удобрений балансовым методом использовать установленные в опытах показатели выноса питательных веществ с единицей урожая и коэффициенты использования азота и фосфора растениями проса из почвы и удобрений.

Список работ, опубликованных по теме диссертации в изданиях, включённых в перечень ВАК:

1. Имашев, И.Г. Влияние удобрений на качество зерна проса на светло-каштановой почве Саратовского Заволжья / И.Г. Имашев, В.П. Белоголовцев // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова - 2014. - №1. - С. 35 - 38 (0,56 п. л.; авт.- 0,42)

2. Белоголовцев, В.П.. Влияние минеральных удобрений на химический состав урожая проса при выращивании на светло-каштановой почве Саратовского Заволжья / В.П. Белоголовцев, И.Г. Имашев //Аграрный научный журнал - 2016. - №2. - С. 3 - 6 (0,54 п. л.; авт.- 0,38).

в прочих изданиях:

3. Имашев, И.Г. Влияние минеральных удобрений на урожай и качества проса на светло-каштановой почве Заволжья / И.Г. Имашев, В.П. Белоголовцев / Вавиловские чтения-2011. Материалы Международной науч.-практич. конференции, посвященной 124-летию Н.И.Вавилова. Сб. статей. Саратов. - 2011. - Т.1. - С. 223-236 (0,25 п. л.; авт.- 0,15).

4. Имашев, И.Г. Повышение продуктивности проса на светло-каштановой почве Саратовского Заволжья / И.Г. Имашев, В.П. Белоголовцев / Вавиловские чтения-2012. Материалы Международной науч.-практич. конференции, посвященной 125-летию Н.И. Вавилова. Сб. статей. - Саратов - 2012. Т.1. С. 322- 325 (0,26 п.л.; авт.- 0,14).

5. Имашев, И.Г. Энергетическая эффективность применения удобрений под просо на светло-каштановой почве Саратовского Заволжья / И.Г. Имашев, В.П. Белоголовцев / Состояние и перспективы инновационного развития АПК. Материалы II Международной науч.-практич. конф., посвященной 100-летию Саратовского ГАУ. Сб. статей. - Саратов -2013. С. 49 - 52 (0,18 п.л.; авт.- 0,09).

6. Имашев, И.Г. Влияние минеральных удобрений на качество зерна проса на светло-каштановой почве Саратовского Заволжья / И.Г. Имашев, В.П.

Белоголовцев / Состояние и перспективы инновационного развития АПК. Материалы II Международной науч.-практич. конф., посвященной 100-летию Саратовского ГАУ. Сб. статей. - Саратов - 2013. - С. 52 - 55.

7. Имашев, И.Г. Влияние удобрений на водопотребление проса на светло-каштановой почве Саратовского Заволжья / И.Г. Имашев, В.П. Белоголовцев // Проблемы и перспективы инновационного развития мирового сельского хозяйства. Сб. статей IV Международной науч.-практич. конф., Саратовский ГАУ. Сб. статей. – Саратов - 2013. - С. 217- 220 (0,41 п.л.; авт.- 0,28).

8. Имашев, И.Г. Влияние различных доз минеральных удобрений на продуктивности проса в зоне светло-каштановых почв Саратовского Заволжья, / И.Г. Имашев, В.П. Белоголовцев // Вавиловские чтения - 2013. Материалы Международной науч.-практич. конференции, посвященной 126-летию Н.И. Вавилова и 100-летию Саратовского ГАУ. – Саратов. - 2013.- Т.1. - С.233 - 236 (0,41 п.л.; авт.- 0,28).