

Аветисян Давид Рафаелович

**ПРИМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И БАКТЕРИАЛЬНЫХ
ПРЕПАРАТОВ ПОД ЛЁН МАСЛИЧНЫЙ НА ЧЕРНОЗЕМЕ
ОБЫКНОВЕННОМ В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ДОНА**

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования "Донской государственный аграрный университет" на кафедре агрохимии и экологии имени профессора Е.В. Агафонова

Научный руководитель: **Каменев Роман Александрович**
доктор сельскохозяйственных наук, доцент

Официальные оппоненты: **Шеуджен Асхад Хазретович**
доктор биологических наук, профессор, академик РАН, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», заведующий кафедрой агрохимии, Заслуженный деятель науки РФ, Кубани и Республики Адыгея

Ярошенко Татьяна Михайловна
кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории плодородия почв ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Защита диссертации состоится "___" _____ 2024 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета 35.2.035.05, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова" по адресу: 410012, г. Саратов, проспект им. П. Столыпина, зд. 4, стр. 3.

E-mail: dissovet01@sgau.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Вавиловский университет и на сайте www.vavilovsar.ru

Автореферат разослан "___" _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Полетаев Илья Сергеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. В мире посевная площадь льна ежегодно достигает 2,5-3,2 млн. га. Валовой сбор маслосемян составляет 1,9-2,7 млн. т. Странами-производителями маслосемян льна с наибольшими посевными площадями являются Индия, Китай, Канада и США. В Российской Федерации в последние годы отмечено повышение посевных площадей этой технической культуры: в 2019 году они составляли 814,7 тыс. га, в 2020 году размер вырос на 9,3% (на 69,1 тыс. га), в 2021 году (данные ВНИИМК) площадь посева льна масличного была больше 1 500 тыс. га (2% от всей посевной площади России). В 2023 году посевные площади льна масличного в Ростовской области достигли 37 554 гектаров при урожайности 1,1-1,2 тонны на гектар (<https://сельхозпортал.рф>). Но для Ростовской области лён масличный представляет новую культуру, поэтому вопросы её питания на черноземных почвах остаются пока малоизученными.

Степень её разработанности. С 2005 по 2023 годы на кафедре агрохимии и экологии имени профессора Е.В. Агафонова ФГБОУ ВО Донской госагроуниверситет проводятся полевые и лабораторные опыты по изучению возможности использования в растениеводстве биологических препаратов со штаммами ассоциативных азотфиксирующих микроорганизмов для увеличения урожайности и качества полевых и овощных культур в Ростовской области: сорго зерновое – Е.В. Агафонов, С.В. Абраменко (2005), арбуз на орошении – Е.В. Агафонов, В.С. Барыкин (2010), баклажан – Е.В. Агафонов, Б.С. Фарский (2012), просо – Е.В. Агафонов, В.В. Клыков (2013), картофель – Е.В. Агафонов, Н.П. Каменский (2015), кукуруза на зерно – А.А. Севостьянова (2019). На масличных культурах были проведены испытания различных биопрепаратов на льне на черноземе южном И.В. Нужновым и др. (2016), на черноземе обыкновенном с подсолнечником А.В. Ващенко (2021) и на темно-каштановых почвах с сафлором Л.А. Разумновой (2021). Результаты, полученные при проведении полевых опытов, показывают высокую отзывчивость масличных культур на применение различных микробиологических препаратов для увеличения урожайности и качества продукции.

В условиях дефицита фосфора и характерной для почв региона очень низкой и низкой обеспеченности этим макроэлементом весьма актуальным является установление оптимальных способов и сроков применения минеральных удобрений (и прежде всего фосфорных) для достижения максимальной эффективности в первый год их применения (Е.В. Агафонов, Р.А. Каменев, 2006; В.В. Кидин, 2012).

Но сведений об эффективности применения микробиологических удобрений на черноземах обыкновенных, как и выбор срока и способа внесения удобрений для достижения наибольшей урожайности и сбора масла льна в условиях Нижнего Дона в литературе недостаточно.

Цели и задачи. Целью проведенных исследований являлась разработка комплексной системы использования минеральных удобрений и биологических препаратов при выращивании льна масличного на черноземе обыкновенном Нижнего Дона.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи исследований:

1. Определение влияния минеральных удобрений и биологических препаратов на динамику содержания минерального азота, подвижного фосфора и обменного калия в почве под льном масличным.
2. Изучение действия минеральных удобрений и биологических препаратов на биометрические показатели растений льна и концентрацию азота, фосфора и калия в них.
3. Установление влияния агрохимикатов на урожайность и качество маслосемян льна.
4. Определить показатели выноса и рассчитать балансы элементов минерального питания.
5. Оценить экономическую и биоэнергетическую эффективность применения микробиологических препаратов и минеральных удобрений при выращивании льна.

Научная новизна. На черноземных почвах Нижнего Дона определён оптимальный срок и способ внесения минеральных удобрений под лён масличный на фоне различной степени обеспеченности почвы подвижным фосфором; установлена оптимальная доза удобрений для применения под лён; рекомендован микробиологический препарат для допосевной инокуляции семян и его использования совместно с минеральными удобрениями для повышения урожайности и масличности льна; проведена экономическая и биоэнергетическая оценка применения агрохимикатов при выращивании льна.

Теоретическая и практическая значимость работы. Определены особенности потребления растений льна при разных способах и сроках применении минеральных удобрений, а также после обработки посевного материала бактериальными препаратами в условиях чернозёма обыкновенного Нижнего Дона. Доказан выбор оптимального срока, способа и дозы внесения минеральных удобрений для совместного применения с микробиологическим препаратом Экстрасол, что увеличивает урожайность маслосемян льна и сбор масла с достижением оптимальных показателей экономической и биоэнергетической оценки.

Рекомендуемые агрохимические приемы выращивания льна прошли апробацию в 2023 году в хозяйствах Азовского (72 га) и Мартыновского (69 га) районов Ростовской области с достижением следующего агрономического и экономического эффекта: урожайность маслосемян увеличилась на 0,22-0,31 т/га, условно чистый доход – на 5425-8220 руб./га и рентабельность производства - на 11,6-24,0%.

Объекты и предмет исследований. Объекты исследований: сорт льна масличного Небесный. Оригинатор – ГБНУ "Донская опытная станция имени

Л.А. Жданова ВНИИМК". Сорт разрешен к возделыванию в Северо-Кавказском (6) регионе. Микробиологические препараты Флавобактерин и Мизорин входят в состав линейки бакпрепаратов Ультрафит компании ООО «ЭКОС», жидкая форма «Экстрасол» компании ООО «БИСОЛБИ-ИНТЕР».

Предметом проведения исследований являлась определение содержания в почве НРК для характеристики питания льна на черноземе обыкновенном Нижнего Дона, что характеризует уровень формирования урожайности маслосемян культуры.

Методология и методы исследования. Для проведения работы применялись научные материалы по использованию минеральных удобрений и микробиологических препаратов в растениеводстве при возделывании льна масличного. При выполнении полевых и лабораторных исследований были применены распространенные методики проведения экспериментов, выполнен дисперсионный и корреляционный анализ полученных результатов, определена экономическая и биоэнергетическая эффективность.

Положения, выносимые на защиту:

1. Характер влияния минеральных удобрений и микробиологических препаратов на биометрические показатели растений льна.
2. Оптимальные способы и сроки внесения минеральных удобрений в зависимости от содержания в почве доступных элементов минерального питания растений.
3. Действие минеральных удобрений на урожайность и качество маслосемян льна.
4. Целесообразность использования микробиологического препарата Экстрасол при выращивании льна масличного.

Степень достоверности результатов. Результаты, полученные при проведении полевых опытов, подтверждаются выполнением общепринятых методик, используемых при их выполнении, лабораторно-аналитическими работами, проведением дисперсионного и корреляционного анализов, апробацией изученных агрохимических приемов в хозяйствах Ростовской области.

Апробация работы. Результаты полевых и лабораторных исследований докладывались на ежегодных научно-практических конференциях, проведенных в ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» (2023,2024) и в ФГБОУ ВО «Новосибирский ГАУ» (2024).

Публикации. Результаты НИР по теме диссертационной работы, опубликованы в 8 печатных работах, три из которых входят в перечень журналов, рекомендованных ВАК Российской Федерации.

Объём и структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 154 страницах компьютерного текста, включает 39 таблиц и 12 рисунков; состоит из введения, 7 глав, заключения, предложений производству и 16 приложений. Список используемой литературы состоит из 123 источников, в том числе 12 из них – иностранных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводятся сведения о роли льна масличного в решении продовольственной безопасности РФ, указаны основные федеральные округа и зоны его выращивания в стране, дано обоснование выбора оптимальных способов и сроков применения минеральных удобрений в условиях дефицита подвижного фосфора в почве для увеличения урожайности и качества продукции сельскохозяйственных культур. Показана эффективность применения микробиологических удобрений в условиях современного земледелия.

В первой главе «Биологические особенности льна и технологические приемы оптимизации применения удобрений и биопрепаратов в технологиях его выращивания (обзор литературы)» рассматриваются биологические особенности льна масличного и потребление элементов минерального питания, а также имеющийся опыт применения удобрений под лён. Приводятся сведения об использовании бактериальных препаратов при выращивании масличных культур, их влиянии на почву и увеличение концентрации элементов минерального питания в растениях. Но сведений о применении на льне масличном ассоциативных азотфиксаторов, используемых для инокуляции семян, на черноземах обыкновенных Нижнего Дона в литературе не найдено.

Во второй главе «Условия и методика проведения исследований» дана характеристика почвы, погодно-климатических условий и методика проведения исследований. Опыты проведены в 2020-2023 гг. в ООО «Заветы Ильича», расположенном в Азовском районе Ростовской области. Объектом исследования являлся сорт льна масличного Небесный. Оригинатором является ГБНУ "Донская опытная станция имени Л.А. Жданова ВНИИМК". Разрешен к возделыванию в Северо-Кавказском (6) регионе. Площадь варианта опыта 30 м² (5 м×6 м), учетная 22 м². Повторность опыта – 3-х-кратная. Размещение делянок – рендомезированное. Технология возделывания культуры – традиционная для приазовской зоне. Посев проводили сеялкой СЗ-5,4. Норма высева льна масличного 7 млн шт./га. Предшественник – озимая пшеница. Почва района проведения опытов - чернозем обыкновенный карбонатный.

Схема опыта по изучению эффективности минеральных удобрений и биопрепаратов: 1 вариант – контроль (без агрохимикатов); 2-7 варианты – внесение минеральных удобрений весной перед посевом с заделкой культивацией в дозах N₃₀P₃₀; N₃₀P₃₀K₃₀; N₄₅P₄₅; N₄₅P₄₅K₄₅; N₆₀P₆₀; N₆₀P₆₀K₆₀; 8-13 варианты – внесение фосфорных и фосфорно-калийных удобрений осенью под вспашку, азотных – весной под предпосевную культивацию (с вычетом дозы азота, внесённой осенью в составе комплексного удобрения) в дозах N₃₀P₃₀; N₃₀P₃₀K₃₀; N₄₅P₄₅; N₄₅P₄₅K₄₅; N₆₀P₆₀; N₆₀P₆₀K₆₀; 14-15 варианты – применение минеральных удобрений при посеве в дозах N₃₀P₃₀; N₃₀P₃₀K₃₀; 16-18 варианты – применение бактериальных препаратов Мизорин, Флавобактерин, Экстрасол; 19-21 варианты – совместное применение бактериальных препаратов с фоном минеральных удобрений Мизорин+N₃₀P₃₀, Флавобактерин +N₃₀P₃₀, Экстрасол+ N₃₀P₃₀.

Минеральные удобрения: аммонийная селитра (34,4% N), аммофос (12-52), хлористый калий (65% K₂O). Полевые опыты проводились по требованиям методики опытного дела в агрономии и агрохимии Ф.А. Юдина (1980) и Б.А. Доспехова (1985). Уборку урожая льна проводили вручную поделаяночно. Химические анализы почвы и растений выполнены на кафедре агрохимии и экологии имени профессора Е.В. Агафонова.

Микробиологические препараты Флавобактерин и Мизорин являются составляющими линейки биопрепаратов Ультрафит компании ООО «ЭКОС» и микробиологическое удобрение на основе ризосферных бактерий *Bacillus subtilis* Ч-13: жидкая форма «Экстрасол» компании ООО «БИСОЛБИ-ИНТЕР». Нормы нанесения биопрепаратов на семенной материал: Флавобактерин и Мизорин из расчета 600, Экстрасол – 200 мл на гектарную норму.

Отбор образцов и их лабораторные анализы выполнялись по следующим методикам: ГОСТ 28168-89 «Почвы. Отбор проб»; ГОСТ – 29269–91 «Почвы. Общие требования к проведению анализов»; ГОСТ 26213-91 «Определение общего гумуса по методике И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова»; ГОСТ 28268-89 «Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений; расчет продуктивной влаги - по методике Агафонова Е.В. (1992); ГОСТ 26951–86 «Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом»; ГОСТ 26205–91 «Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО»; ГОСТ 13496.4-93 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина»; ГОСТ 26657-97 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания фосфора»; ГОСТ-30504-97 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Пламенно-фотометрический метод определения содержания калия»; ГОСТ - 10857 – 64 «Содержание жира в семенах». Экономическую оценку использования удобрений проводили по методике Баранова Н.Н. (1966); фенологические наблюдения и учет биометрических показателей растений - по Моисейченко В.Ф. и др., 1996; биоэнергетическую оценку – «Основы биоэнергетической оценки производства продукции растениеводства» В.В. Удалов, А.П. Авдеенко и др. (2008); математическую обработку полученных результатов – методами дисперсионного и корреляционного анализов по Б.А. Доспехову (1985) с использованием ПК.

На момент посева льна масличного на контроле содержание минерального азота в почвенном слое 0-60 см колебалось от 18,0 (2023 г.) до 73,0 (2021 г.) кг/га. Количество подвижного фосфора перед севом льна масличного в 2023 г. в слое почвы 0-40 см достигало 7,1 мг/кг (очень низкая обеспеченность по Мачигину), в 2021 году – 11,2 (низкая обеспеченность) и в 2022 г. – 22,1 мг/кг (средняя обеспеченность). Содержание в почве обменного калия перед посевом льна в слое почвы 0-40 см в годы проведения исследований составляло 477-592 мг/кг почвы и соответствовало высокой обеспеченности по Мачигину.

Почва чернозем обыкновенный, мощность гумусосодержащего горизонта А+В колеблется от 85 до 100 см, содержание гумуса в горизонте А – 4,1-4,4%.

Землепользование Азовского района находится в засушливой зоне с ГТК в пределах 0,7-0,8. Погодные условия отличались существенным разнообразием. Благоприятным по увлажнению являлся 2022-2023 с.-х. год, засушливым оказался 2021-2022 с.-х. год. Среднегодовая температура воздуха была превышена на 2,5⁰С в 2021 с.-х. году и на 0,7-0,8⁰С в 2022 и 2023 с.-х. годы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В третьей главе «Содержание продуктивной влаги и элементов минерального питания в почве под льном масличным» представлены результаты по изменению обеспеченности почвы продуктивной влагой и питательного режима под посевами льна масличного. Наибольшие запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы перед посевом льна получены в 2021 году 203,4 мм, в 2022 году – 183,4 мм, в 2023 году - 160,3 мм (рисунок 1).

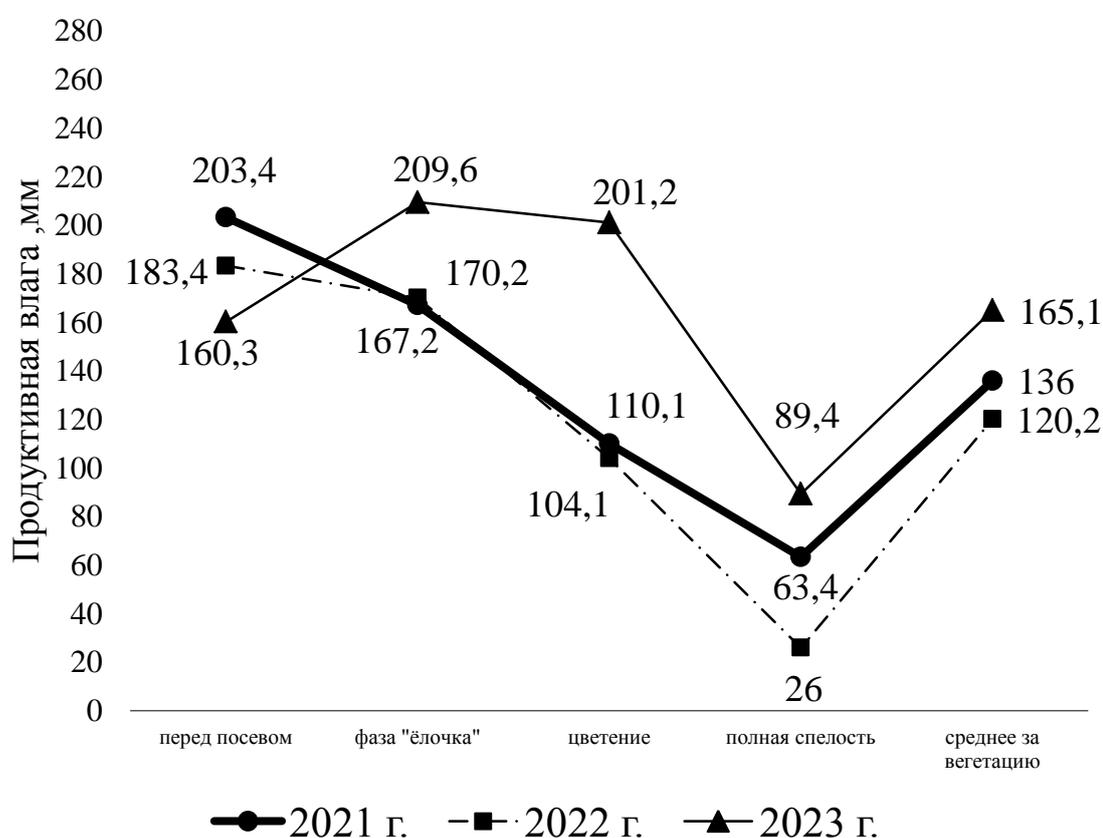


Рисунок 1 – Динамика продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см под льном масличным, мм

В 2021 и 2022 годы от посева до полной спелости льна происходило снижение запасов продуктивной влаги. В 2023 году к фазе «ёлочка» за счёт обильного выпадения осадков количество продуктивной влаги в почве увеличилось, но в дальнейшем происходило снижение её запасов до уборки.

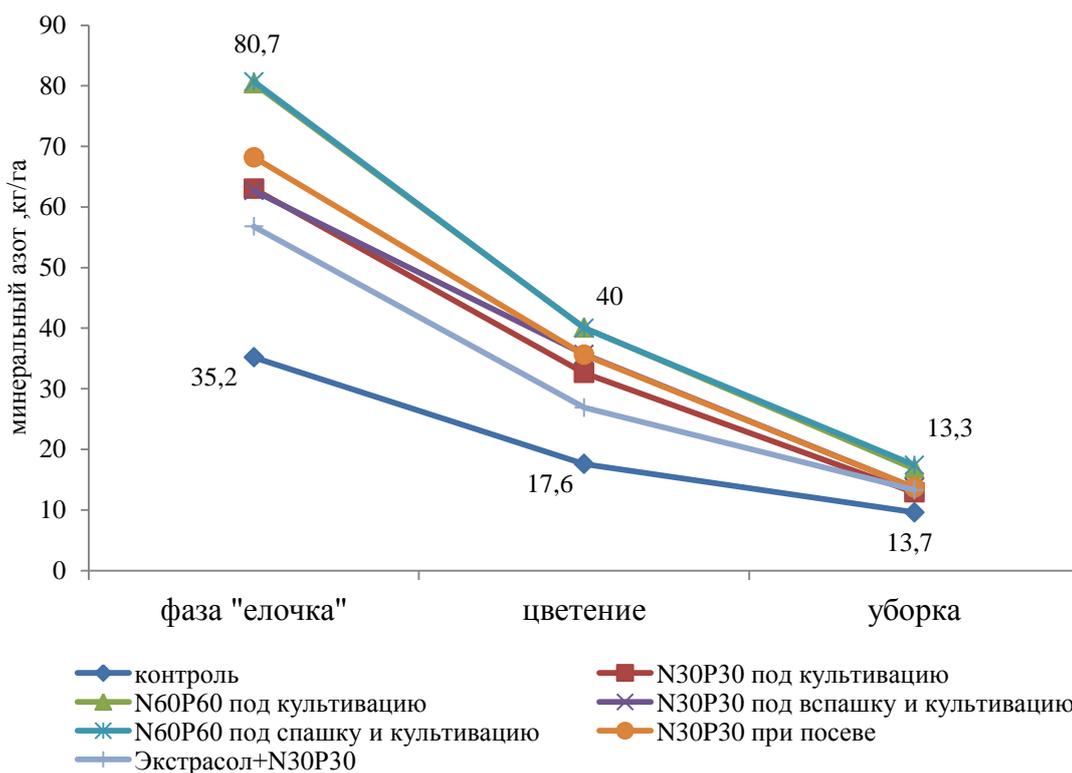
Запас N-NH₄ в 60-сантиметровом слое почвы перед посевом льна масличного наибольшим был в 2021 г. 32,0 кг/га, практически одинаковым в 2023 и 2022 г. – 9,5-10,3 кг/га, в среднем за 3 года – 17,3 кг/га.

В 2022 и 2023 гг. от посева и до фазы цветения льна масличного происходило равномерное снижение количества аммонийного азота в почве, в 2021 году – до фазы полной спелости. В среднем за 2021-2023 гг. при внесении удобрений в дозах N_{30} , N_{45} и N_{60} происходило равномерное увеличение аммонийного азота в почве в фазу «ёлочка». Максимальные повышения зафиксированы при внесении азотных удобрений в наибольших дозах. Увеличение к контролю достигало 20,9-22,0 кг/га или 157,1-165,4%. Применение бактериальных препаратов способствовало существенному повышению содержания аммонийного азота в почве в фазы цветения и полной спелости по сравнению с содержанием на контроле.

Запас нитратного азота перед посевом льна масличного в 60-сантиметровом слое почвы на контрольном варианте был наименьшим в 2023 году 8,5 кг/га, в 2022 г. – 18,7 и в 2023 г. - 41,0 кг/га и в среднем за 3 года – 22,7 кг/га. В 2021 и 2022 гг. запас нитратного азота в слое почвы 0-60 см от посева до фазы полная спелость равномерно уменьшался. В 2023 г. содержание $N-NO_3$ в почве увеличивалось от посева до фазы «ёлочка» на 7,1 кг/га, а в фазу цветение - ещё на 2,0 кг/га. Оптимальная влажность почвы в весенний период, несмотря на потребление почвенного азота растениями льна, обеспечивали интенсивное течение нитрификационных процессов в почве и пополнение запасов $N-NO_3$. В фазу «ёлочка» в среднем за 2021-2023 гг. максимальная обеспеченность почвы $N-NO_3$ зафиксирована при применении азотных удобрений в наибольших дозах весной под предпосевную культивацию. На этих же вариантах получено максимальное количество $N-NO_3$ в среднем за период вегетации льна (фаза «ёлочка» - полная спелость), которое превосходит контроль на 16,6-17,3 кг/га или на 111,4-116,1%.

В предпосевной период в 2021 году в слое почвы 0-60 см содержание $N_{\text{мин}}$ достигало 73,0 кг/га, в 2022 г. – 29 и наименьшим оно было в 2023 году – лишь 18,0 кг/га. В годы проведения опытов на контроле от посева до полного созревания культуры зафиксировано уменьшение $N_{\text{мин}}$ в почве. Внесение N_{30} до посева с заделкой культивацией в среднем за 3 года обеспечивало увеличение запаса $N_{\text{мин}}$ в слое почвы 0-60 см на 27,5-28,0 кг/га или на 78,1-79,5%, при припосевном внесении этой же дозы удобрений эффект возрастал на 33,0 кг/га или на 98,8% (рисунок 2).

При внесении удобрений в дозе 45 д.в./га до посева прибавка составляла к контролю 35,0-35,9 кг/га или 99,4-102,0%, в дозе 60 кг/га – 45,2-47,4 кг/га или 128,4-134,7%. Максимальной эффект в увеличении минерального азота получен при предпосевной обработке семян Экстрасолом. В течение вегетации льна на всех вариантах в опыте зафиксировано равномерное уменьшение почвенного азота до фазы полной спелости

НСР₀₅

5,1 кг/га

1,2 кг/га

0,6 кг/га

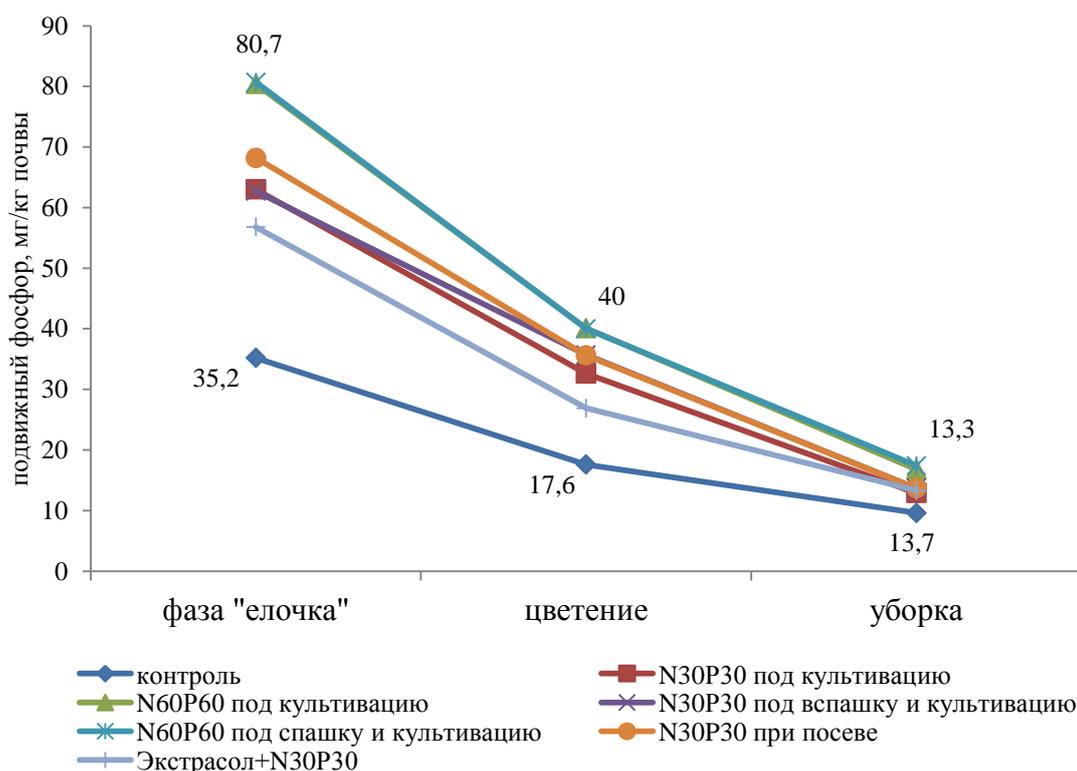
Рисунок 2 - Динамика минерального азота в слое почвы 0-60 см под льном масличным в среднем за 2021-2023 гг., кг/га

В предпосевной период льна содержание подвижного фосфора в слое почвы 0-40 см в 2021 г. характеризовало её как низко обеспеченную (11,2 мг/кг) по Мачигину, в 2022 г. – как средне обеспеченную (22,1 мг/кг) и в 2023 г. – как очень низко обеспеченную (7,1 мг/кг). При применении фосфорных удобрений осенью с заделкой плугом количество P_2O_5 статистически достоверно уменьшалось на 1,1-1,6 мг/кг почвы по сравнению с вариантами, на которых удобрения были внесены весной культивацию. При этом наибольшее содержание P_2O_5 в 2021 году в фазу «ёлочка» получена на вариантах с припосевным применением удобрений в дозе P_{30} . Повышение содержания P_2O_5 составило 1,1-1,2 мг/кг почвы по сравнению с предпосевным внесением под культивацию и на 2,2 мг/кг – с осенним применением под плуг.

В условиях средней обеспеченности почвы P_2O_5 в 2022 году выбор способа заделки фосфорных удобрений не оказывал решающего значения в содержании P_2O_5 в слое почвы 0-40 см в фазу «ёлочка».

В 2023 году при применении удобрений при очень низком содержании в почве P_2O_5 отмечены такие же тенденции в изменении фосфатного режима почвы, как и в 2021 году. Существенное влияние на этот показатель почвенного плодородия оказывала не только доза внесённых удобрений, но также способ и срок их применения.

В среднем за 3 года содержание подвижного фосфора составило 13,5 мг/кг почвы. От припосевного внесения удобрений в дозах P_{30} существенное увеличение содержания P_2O_5 в фазу «ёлочка» получено не только по сравнению с контролем, но и с вариантами, на которых удобрения вносились вразброс. Прибавка по сравнению с вариантом с заделкой плугом достигала 1,7-2,3, культивацией - 0,9-1,4 мг/кг (рисунок 3). В течение вегетации льна масличного на вариантах опыта зафиксировано уменьшение содержания P_2O_5 .



НСР₀₅

1,0 мг/кг

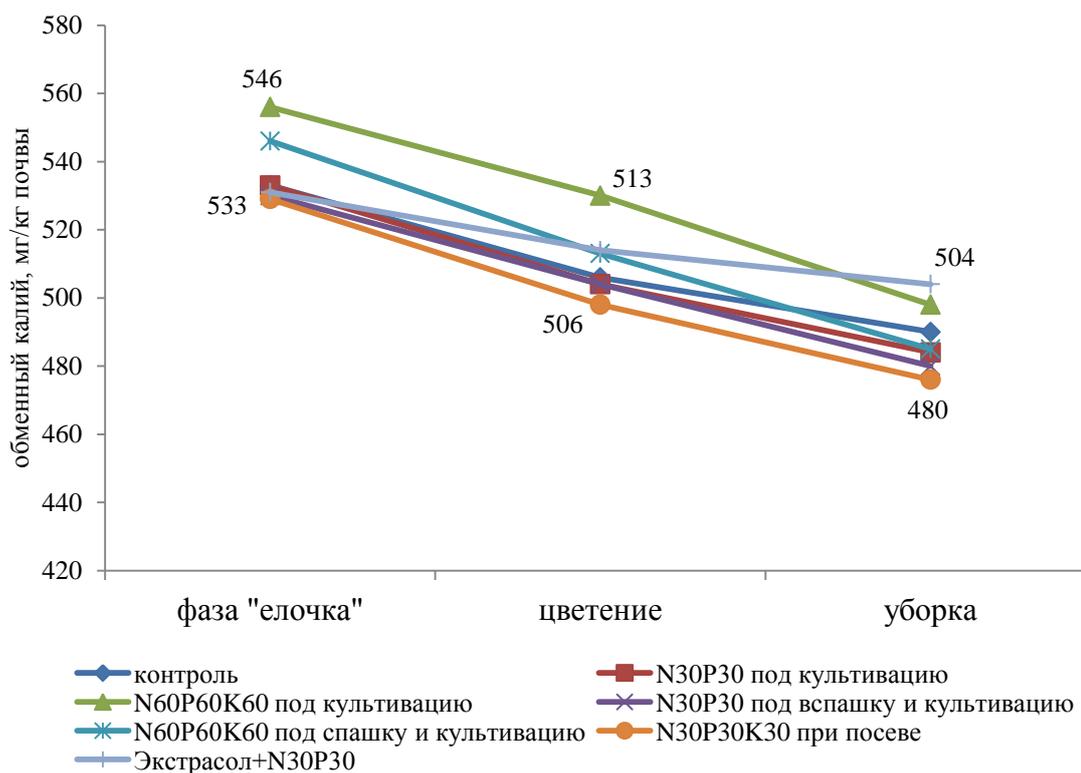
0,7 мг/кг

0,9 мг/кг

Рисунок 3 - Динамика подвижного фосфора в слое почвы 0-40 см в среднем за 2021-2023 гг., мг/кг почвы

В среднем за 2021-2023 гг. в предпосевной период льна содержание обменного калия составило 545 мг/кг почвы. В разные годы проведения опытов динамика обменного калия в почве под льном была сходной - до момента проведения уборки отмечено уменьшение количества K_2O в почве (рисунок 4).

Математически достоверное увеличение содержания обменного калия в слое почвы 0-40 см в фазы «ёлочка» и цветение получено лишь при внесении K_{60} и заделкой культиватором.

НСР₀₅

22 мг/кг

18 мг/кг

16 мг/кг

Рисунок 4 - Динамика обменного калия в слое почвы 0-40 см в среднем за 2021-2023 гг., мг/кг почвы

В четвертой главе «Биометрические показатели растений льна и содержание в них элементов минерального питания» рассматриваются результаты нарастания надземной массы льна и накопления в ней NPK. Под действием агрохимикатов в фазу «ёлочка» происходило равномерное увеличение биометрических показателей растений, кроме вариантов с биопрепаратами без фона удобрений.

Наибольшие биометрические показатели растений в среднем за 2021-2023 гг. достигнуты при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ независимо от срока и способа применения. Они составили по отношению к контролю в увеличении высоты 7,9 см или 49,7%, а массы – 1,2 г или 80,0% (таблица 1). Наибольшие показатели высоты и массы 1 растения в фазу цветение получены на варианте с осенним применением $P_{60}K_{60}$ и весенним внесением азотных. Увеличение биометрических показателей по сравнению с контрольным вариантом достигало 18,2 см или 29,8% и 2,7 г или 52,9%.

В среднем за 2021-2023 гг. применение минеральных удобрений во все сроки и всеми способами внесения обеспечивало существенное увеличение концентрации общего азота и фосфора в фазу «ёлочка» по сравнению с контролем.

Таблица 1 – Биометрические показатели растений льна в среднем за 2021-2023 гг.

Вариант	фаза «ёлочка»		фаза «цветение»	
	высота растения, см	масса 1 сырого растения, г	высота растения, см	масса 1 сырого растения, г
контроль	15,9	1,5	61,1	5,1
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	19,2	1,8	65,2	6,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	20,2	1,9	66,8	6,5
N ₄₅ P ₄₅	20,8	1,9	70,0	6,9
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	22,0	2,1	73,6	7,2
N ₆₀ P ₆₀	22,8	2,4	75,5	7,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	23,8	2,7	78,8	7,6
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	19,1	1,8	64,8	6,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	20,3	2,0	68,3	6,4
N ₄₅ P ₄₅	20,9	2,0	70,7	7,0
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	22,0	2,2	73,7	7,2
N ₆₀ P ₆₀	22,6	2,5	76,5	7,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	23,8	2,7	79,3	7,8
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	19,6	1,8	64,8	6,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	20,6	2,0	68,1	6,3
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	16,0	1,7	66,2	5,9
Мизорин	15,9	1,8	66,4	6,2
Экстрасол	16,2	1,8	67,3	6,1
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	19,6	2,2	68,3	6,4
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	20,2	2,1	69,2	6,4
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	20,4	2,2	69,1	6,6
НСР ₀₅	0,9	0,1	2,5	0,2

Максимальное увеличение NPK достигнуто при применении N₆₀P₆₀K₆₀. Увеличение по сравнению с контролем в абсолютном выражении составило общего азота 1,18%, общего фосфора – 0,12 и общего калия 0,17% (таблица 2).

В фазу цветение тенденции в действии удобрений на количество общего азота и калия сохранились в растениях льна, как и в предыдущую фазу. Максимальная концентрация общего азота и калия получена при внесении удобрений с заделкой культивацией в дозе N₆₀P₆₀K₆₀. Но наибольшее содержание P₂O₅ в растениях зафиксировано от действия удобрений в дозах N₃₀P₃₀ и N₃₀P₃₀K₃₀. В фазу цветение в среднем за 3 года наибольшая концентрация NPK при использовании биопрепаратов на фоне припосевного применения N₃₀P₃₀ получена при использовании Экстрасола.

Таблица 2 – Содержание основных элементов питания в растениях льна масличного в среднем за 2021-2023 гг., % на абсолютно сухое вещество

Варианты	Фаза «ёлочка»			Фаза цветение		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
контроль	4,17	0,49	3,34	3,58	0,37	2,97
внесение весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	5,06	0,58	3,39	4,16	0,45	3,05
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	5,05	0,58	3,40	4,20	0,46	3,08
N ₄₅ P ₄₅	5,15	0,60	3,44	4,32	0,49	3,07
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	5,19	0,59	3,46	4,36	0,49	3,10
N ₆₀ P ₆₀	5,33	0,60	3,48	4,42	0,52	3,13
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,35	0,61	3,51	4,44	0,52	3,16
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	5,05	0,55	3,39	4,17	0,44	3,02
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	5,09	0,56	3,44	4,16	0,47	3,08
N ₄₅ P ₄₅	5,16	0,57	3,43	4,24	0,50	3,07
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	5,20	0,58	3,46	4,29	0,51	3,12
N ₆₀ P ₆₀	5,26	0,60	3,46	4,42	0,53	3,11
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,30	0,60	3,47	4,44	0,53	3,15
применение при посеве						
N ₃₀ P ₃₀	5,14	0,57	3,47	4,28	0,54	3,12
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	5,14	0,58	3,49	4,29	0,55	3,14
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве						
Флавобактерин	4,14	0,50	3,40	3,93	0,36	2,98
Мизорин	4,17	0,51	3,41	3,94	0,38	3,01
Экстрасол	4,19	0,48	3,43	3,98	0,38	3,03
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	5,12	0,56	3,47	4,39	0,44	3,08
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	5,13	0,57	3,47	4,43	0,41	3,12
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	5,19	0,60	3,46	4,44	0,45	3,14
НСР ₀₅	0,15	0,08	0,15	0,12	0,06	0,17

В пятой главе «Влияние минеральных удобрений и бактериальных препаратов на урожайность льна масличного и качество продукции» рассмотрено действие изучаемых агрохимикатов на урожайность маслосемян и выход масла с 1 га.

Урожайность льна в 2021 году на контроле сформирована на уровне 1,73 т/га маслосемян (таблица 3). При применении удобрений в дозах P₃₀ и P₄₅ под основную обработку почвы под плуг, а азотных весной под культивацию урожайность маслосемян статистически достоверно снижалась по сравнению с вариантами, на которых NP применялось под заделку сплошной культивацией - на 0,20 и 0,18 т/га соответственно. Вероятно, это можно объяснить тем, что при дефиците подвижного фосфора и при смешивании гранул удобрений плугом с почвой происходит ускорение процессов химической сорбции за осенне-зимне-весенний период с формированием труднорастворимых соединений.

Таблица 3 – Урожайность маслосемян льна, т/га

Варианты	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее за 3 года	Прибавка к контролю	
					т/га	%
контроль	1,73	1,12	1,37	1,41	-	-
внесение весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	2,21	1,66	1,51	1,79	0,38	27,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,15	1,60	1,53	1,76	0,35	24,8
N ₄₅ P ₄₅	2,30	1,85	1,66	1,94	0,53	37,4
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	2,26	1,83	1,70	1,93	0,52	36,9
N ₆₀ P ₆₀	2,35	1,99	1,84	2,06	0,65	46,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	2,23	1,89	1,80	1,97	0,56	40,0
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	2,01	1,70	1,48	1,73	0,32	22,7
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,00	1,65	1,51	1,72	0,31	22,0
N ₄₅ P ₄₅	2,12	1,88	1,60	1,87	0,46	32,4
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	2,09	1,82	1,62	1,84	0,43	30,7
N ₆₀ P ₆₀	2,21	1,94	1,71	1,95	0,54	38,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	2,25	1,88	1,73	1,95	0,54	38,5
применение при посеве						
N ₃₀ P ₃₀	2,47	1,75	1,65	1,96	0,55	38,8
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	2,31	1,70	1,70	1,90	0,49	35,0
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве						
Флавобактерин	1,92	1,23	1,46	1,54	0,13	9,0
Мизорин	1,86	1,18	1,48	1,51	0,10	6,9
Экстрасол	2,01	1,20	1,50	1,57	0,16	11,3
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	2,52	1,74	1,71	1,99	0,58	41,1
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	2,41	1,82	1,79	2,01	0,60	42,3
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	2,36	1,89	1,85	2,03	0,62	44,2
НСР ₀₅	0,18	0,10	0,11	0,20	-	-

Наибольшее повышение урожайности в опыте в 2021 году достигнуто на варианте с припосевным внесением удобрений дозе N₃₀P₃₀. Повышение урожайности к контролю составило 0,74 т/га или 42,8%, а к такому же варианту с внесением удобрений под сплошную культивацию - 0,26 т/га или 11,8%. Наибольшая прибавка урожайности получена от действия Экстрасола, а при применении с удобрениями - от Флавобактерина. Увеличение урожайности к контролю составило 0,28 и 0,79 т/га или 16,2 и 45,6%.

В 2022 году урожайность маслосемян на контроле составила 1,12 т/га. На фоне средней обеспеченности почвы доступным фосфором по Мачигину способ и срок внесения удобрений не оказывал существенного влияния на урожайность льна. Максимальное действие на урожайность получено от величины дозы удобрений. Их внесение в дозе N₆₀P₆₀ увеличивало прибавку на 0,82-0,87 т/га или на 73,2-77,7%. На фоне локального припосевного применения удобрений более эффективно использование Экстрасола для инокуляции семян. Увеличе-

ние по сравнению с контролем достигало 0,77 т/га, а по сравнению с внесением при посеве $N_{30}P_{30}$ – 0,14 т/га.

Урожайность маслосемян льна на контрольном варианте в 2023 году, несмотря на обильное увлажнение почвы в течение вегетации, была меньше, чем в 2021 году на 0,36 т/га и составила 1,37 т/га. Эффективным было в 2023 году использование удобрений в дозе $N_{30}P_{30}$ при посеве льна масличного. Этот агрохимический прием увеличивал урожайность по сравнению другими способами внесения удобрений на 0,14-0,17 т/га или на 10,2-12,4%.

В среднем за 2021-2023 гг. урожайность маслосемян на контрольном варианте составила 1,41 т/га. Наибольшая продуктивность в опыте получена от $N_{60}P_{60}$ при их заделке культиватором. Прибавка к контролю составила 0,65 т/га или 46,1%. При уменьшении дозы азотно-фосфорных удобрений в два раза, но при их локальном внесении увеличение прибавка урожайности было только на 0,10 т/га или на 7,3% меньше, чем на варианте с применением до посева $N_{60}P_{60}$. Эффективно использование для обработки семян Экстрасола. Прибавка к контролю урожайности маслосемян достигала 0,16 т/га или 11,3%. При применении удобрений совместно с Экстрасолом урожайность возрастала ещё на 0,46 т/га или на 32,9%. Уровень урожайности маслосемян на этом варианте сопоставим с действием удобрений в дозе $N_{60}P_{60}$. Наиболее тесная корреляционная зависимость определена от концентрации общего азота в растениях льна в фазу «ёлочка» и его урожайностью в среднем за 3 года, $r = 0,903 \pm 0,099$ и от содержания общего фосфора в эту же фазу, $r = 0,715 \pm 0,161$.

Относительное влияние микробиологических удобрений в увеличении урожайности маслосемян при совместном применении с минеральными удобрениями составило от 19,4 до 28,3% (рисунок 5). Наибольшее действие в увеличение урожайности получено на варианте с применением Экстрасола, минимальный эффект достигнут от Флавобактерина.

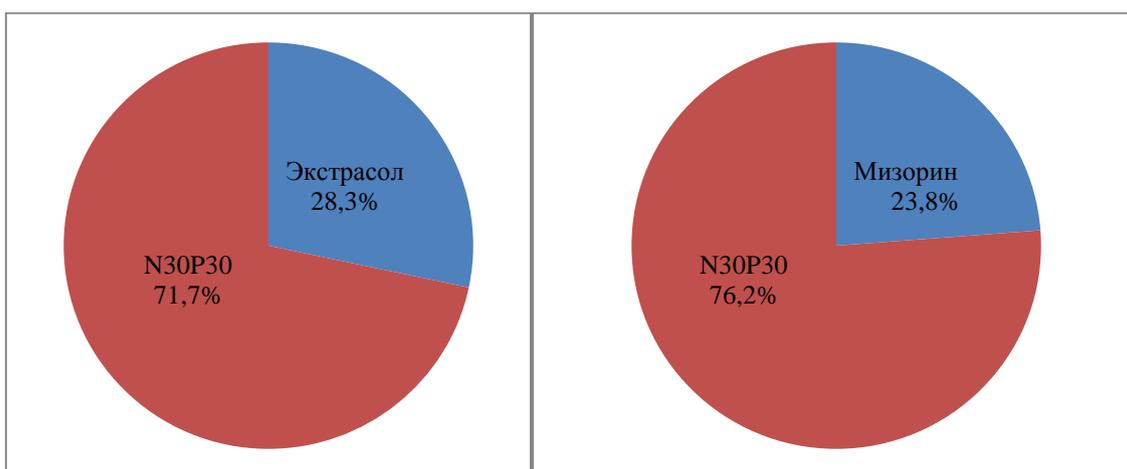


Рисунок 5 - Доли действия минеральных удобрений и микробиологических препаратов в увеличении урожайности маслосемян льна, %

В среднем за 2021-2023 гг. содержание масла на контроле составило 41,1%. При применении удобрений в дозе $N_{45}P_{45}$ весной под культивацию мас-

личность повышалась к контролю на 3,4%, а при внесении припосевным способом в дозе $N_{30}P_{30}$ – на 3,1%. Повышение дозы удобрений снижало масличность льна. Эффективно было использование Экстрасола. Прибавка в повышении содержания масла по отношению к контролю составила 1,7-2,8%. На фоне минеральных удобрений такой же эффект получен от применения Флавобактерина. В среднем за 2021-2023 гг. сбор масла на контроле составил 576 кг/га. При применении $N_{60}P_{60}$ сбор масла увеличивался к контролю на 319 кг/га или на 55,4%. Практически сопоставимый эффект получен от обработки семян льна перед посевом биопрепаратом Экстрасол и выращиванием на фоне удобрений в дозе $N_{30}P_{30}$.

В шестой главе «Вынос и баланс элементов питания при выращивании льна масличного» рассматривается поглощение основной и побочной продукцией льна элементов минерального питания и баланс NPK при его выращивании.

Суммарный вынос азота (маслосемена и вегетативная масса льна) в среднем за 2021-2023 гг. на контроле достигал 77 кг/га. Максимальный вынос азота получен при использовании удобрений в дозах $N_{60}P_{60}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$. Увеличение по сравнению с контролем достигало 33-37 кг/га или 42,9-48,1%. На вариантах с применением биопрепаратов максимальным вынос азота был при использовании Экстрасола – на 8,0 кг/га к контролю.

В среднем за 2021-2023 гг. суммарный вынос фосфора на контроле достигал 18 кг/га. Наибольший общий вынос фосфора сформирован при использовании $N_{60}P_{60}K_{60}$. Увеличение выноса по сравнению с контрольным вариантом составило 10 кг/га или 55,6%. Изменений выноса фосфора при применении микробиологических удобрений по отношению к контролю не выявлено.

Общий вынос калия на контрольном варианте растениями льна в среднем за 2021-2023 гг. достигало 82 кг/га. Максимальное повышение выноса калия отмечено от удобрения в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$, которое к контролю составило 25-26 кг/га или 30,5-31,7%. Использование микробиологических удобрений для обработки на посевной материал обеспечивало увеличение выноса калия к контролю на 5-7 кг/га или на 6,1-8,5%.

Вегетативная масса льна не отчуждается с поля, поэтому баланс элементов питания растений посчитан только с учетом выноса маслосеменами (таблица 5). Баланс азота на контроле был отрицательным и составил в среднем за 2021-2023 гг. 42 кг/га. На всех вариантах опыта получен отрицательный баланс азота. Минимальным он был при применении N_{60} и составил 5-9 кг/га. Применение биопрепаратов увеличивало отрицательный баланс азота до 46-49 кг/га, при их использовании на фоне NP - до 33-35 кг/га.

Отрицательный баланс фосфора наблюдался только на вариантах без внесения удобрений (контрольном и с использованием биопрепаратов) и достигал 8-9 кг/га, калия – 10-16 кг/га. Профицит баланса фосфора и калия получен на всех вариантах опыта с применением фосфорных и калийных удобрений.

Таблица 5 – Баланс NPK при выращивании льна масличного, кг/га. Среднее за 2021-2023 гг.

Варианты	Баланс азота	Баланс фосфора	Баланс калия
контроль	-42	-8	-10
внесение весной под культивацию			
N ₃₀ P ₃₀	-26	19	-13
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	-25	19	16
N ₄₅ P ₄₅	-17	33	-15
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	-18	32	30
N ₆₀ P ₆₀	-9	45	-16
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	-6	46	44
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию			
N ₃₀ P ₃₀	-24	19	-13
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	-24	19	16
N ₄₅ P ₄₅	-16	33	-14
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	-16	32	30
N ₆₀ P ₆₀	-5	47	-15
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	-5	46	44
применение при посеве			
N ₃₀ P ₃₀	-32	16	-15
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	-31	16	15
обработка семян биопрепаратами перед севом и внесение минеральных удобрений при посеве			
Флавобактерин	-47	-9	-11
Мизорин	-46	-9	-11
Экстрасол	-49	-9	-12
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	-33	16	-15
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	-34	16	-16
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	-35	16	-16

В седьмой главе «Экономическая и биоэнергетическая эффективность применения минеральных удобрений и бактериальных препаратов под лён масличный» приводятся результаты экономической и биоэнергетической оценки применения изучаемых агрохимикатов.

Внесение удобрений наиболее эффективно было при их внесении припосевным способом в дозе N₃₀P₃₀. Уровень рентабельности увеличивался на 29%, при уменьшении себестоимости на 1,9 руб./кг. (таблица 6).

Оптимальные показатели экономической эффективности получены при инокуляции семян Экстрасолом. Уровень рентабельности возрастал по сравнению с контролем на 22%, при снижении себестоимости маслосемян на 1,5 руб./кг.

При внесении Экстрасола для обработки семян на фоне припосевного внесения минеральных удобрений обеспечивало наиболее оптимальные показатели энергетической эффективности выращивания льна масличного в опыте - 3,76. На этом варианте сформированы минимальные затраты на формирование основной продукции льна 6,32 ГДж/т.

Таблица 6 – Экономическая оценка применения минеральных удобрений и бактериальных препаратов под лён масличный. Среднее за 2021-2023 гг.

Варианты	Урожайность, т/га	Затраты, руб./га	Стоимость продукции, руб./га	Себестоимость руб./кг	Условно чистый доход руб./га	Рентабельность
контроль	1,41	22125	45120	15,7	22995	104
внесение весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	1,79	26963	57280	15,1	30317	112
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	1,76	28486	56320	16,2	27834	98
N ₄₅ P ₄₅	1,94	29375	62080	15,1	32705	111
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	1,93	31665	61760	16,4	30095	95
N ₆₀ P ₆₀	2,06	31779	65920	15,4	34141	107
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,97	34818	63040	17,7	28222	81
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	1,73	26951	55360	15,6	28409	105
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	1,72	28478	55040	16,6	26562	93
N ₄₅ P ₄₅	1,87	29361	59840	15,7	30479	104
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	1,84	31647	58880	17,2	27233	86
N ₆₀ P ₆₀	1,95	31757	62400	16,3	30643	96
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,95	34814	62400	17,9	27586	79
применение при посеве						
N ₃₀ P ₃₀	1,96	26973	62720	13,8	35747	133
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	1,90	28482	60800	15,0	32318	113
обработка семян биопрепаратами перед севом и внесение минеральных удобрений при посеве						
Флавобактерин	1,54	22451	49280	14,6	26829	120
Мизорин	1,51	22445	48320	14,9	25875	115
Экстрасол	1,57	22219	50240	14,2	28021	126
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	1,99	27279	63680	13,7	36401	133
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	2,01	27283	64320	13,6	37037	136
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	2,03	27049	64960	13,3	37911	140

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В среднем за 2021-2023 гг. запас N-NH₄ в шестидесятисантиметровом слое почвы на контроле составил 17,3 кг/га, N-NO₃ - 22,7 кг/га. Применение удобрений в дозе N₃₀ до посева увеличивало содержание N_{мин} в шестидесятисантиметровом слое почвы на 27,5-28,0 кг/га или на 78,1-79,5%, при припосевном применении - на 33,0 кг/га или на 98,8%. При использовании удобрений в дозе N₄₅ до посева прибавка составляла к контролю 35,0-35,9 кг/га или 99,4-102,0%, в дозе N₆₀ – 45,2-47,4 кг/га или 128,4-134,7%. На вариантах с биопрепаратами наибольшая обеспеченность почвы, как в фазу «ёлочка», так и в среднем за вегетацию получена при использовании Экстрасола. К фазе полная спелость в почве отмечено равномерное уменьшение содержания N_{мин} на вариантах опыта.

В предпосевной период льна содержание P₂O₅ в слое почвы 0-40 см в 2021 г. характеризовало её как низко обеспеченную этим питательным элементом, в

2022 г. – как средне обеспеченную и в 2023 г. – как очень низко обеспеченную. В среднем за 3 года она составила 13,5 мг/кг почвы. От припосевного внесения удобрений в дозах P_{30} существенное увеличение содержания P_2O_5 в фазу «ёлочка» получено не только по сравнению с контролем, но и с вариантами, на которых удобрения вносились вразброс. Прибавка по сравнению с вариантом с заделкой плугом достигала 1,7-2,3, культивацией - 0,9-1,4 мг/кг. В среднем за период вегетации («ёлочка» - полная спелость) наибольшее количество в почве P_2O_5 получено при применении 60 кг/га д.в. каждого элемента.

В предпосевной период льна в годы проведения опытов почва по характеризовалась по Мачигину как высоко обеспеченная обменным калием. Математически достоверное повышение содержания обменного калия в сорокасантиметровом слое в фазу «ёлочка» и цветение получено лишь от действия калийсодержащих удобрений в дозе 60 кг/га д.в. с заделкой культиватором весной. В среднем за период вегетации льна (фаза «ёлочка» - полная спелость) на данном варианте достигнуто наибольшее содержание в почве обменного калия. Повышение по сравнению с контрольным вариантом составило 18 мг/кг почвы или 3,5%.

Наибольшая высота 1 сырого растения льна в фазу «ёлочка» достигнуто при применении $N_{60}P_{60}K_{60}$. В фазу цветения максимальные показатели биометрии получены на варианте с осенним применением РК в дозе 60 кг/га д.в. и азотных – весной в этой же дозе. Увеличение высоты и массы растений по сравнению к контролю составило 18,2 см или 29,8% и 2,7 г или 52,9%.

В среднем за 2021-2023 гг. использование удобрений независимо от срока и способа способствовало достоверному увеличению концентрации общего азота и фосфора в фазы «ёлочка» и цветение к показателям контроля. Максимальная концентрация НК получено на варианте с внесением полного минерального удобрения с заделкой культиватором в весенний предпосевной период в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$. Но наибольшее содержание общего фосфора в фазу цветение получено на варианте использованием удобрений в дозах $N_{30}P_{30}$ и $N_{30}P_{30}K_{30}$. Повышение концентрации по сравнению с вариантами с разбросным применением при использовании азотно-фосфорных удобрений составило 0,09-0,10%, полного минерального удобрения – 0,08-0,09%.

В среднем за 2021-2023 гг. урожайность льна масличного на контроле достигала 1,41 т/га. Наибольшая продуктивность маслосемян сформирована при применении удобрений в дозе $N_{60}P_{60}$ весной с последующей заделкой культиватором. Увеличение к контролю составляло 0,65 т/га или 46,1%. Но при уменьшении дозы удобрений до $N_{30}P_{30}$, но при их припосевном применении увеличении урожайности лишь на 0,10 т/га или на 7,3% меньше. На вариантах с бактериальными удобрениями наибольший эффект дала предпосевная инокуляция семян Экстрасолом. Прибавка к контролю урожайности маслосемян достигала 0,16 т/га или 11,3% и существенно выше при применении совместно с азотно-фосфорными удобрениями - на 0,46 т/га или на 32,9%.

В среднем за 2021-2023 гг. масличность на контроле составляла 41,1%, сбор масла достигал 576 кг/га. При использовании удобрений в дозе $N_{60}P_{60}$ увеличение сбора масла к контролю составило 319 кг/га или 55,4%. Равнозначный эффект в действии на увеличение сбора масла получено от Экстрасола на фоне удобрений в дозе $N_{30}P_{30}$.

В среднем за 2021-2023 гг. наибольший вынос азота получен при использовании удобрений в дозах $N_{60}P_{60}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$. Увеличения к контролю достигали 33-37 кг/га или 42,9-48,1%. Максимальный суммарный вынос фосфора и калия получен на вариантах с внесением удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$. Повышение выноса фосфора к контролю достигало 10 кг/га или 55,6% и калия 25-26 кг/га или 30,5-31,7%.

Близкий к нулевому баланс азота получен лишь в 2022 и 2023 гг. при использовании удобрений в дозе N_{60} . Но в среднем за 2021-2023 гг. на всех вариантах баланс азота был отрицательным. Профицит фосфора составил при использовании P_{30} – 16-19 кг/га, P_{60} – 45-47 кг/га. Профицит калия составил при внесении 30 кг/га д.в. – 15-16 кг/га, 45 кг/га д.в. – 30 и 60 кг/га д.в. – 44 кг/га. Отрицательный баланс калия на вариантах с применением NP составлял 11-16 кг/га.

Высокие показатели экономической оценки достигнуты при обработке семян Экстрасолом. Внесение удобрений эффективно было припосевным способом в дозе $N_{30}P_{30}$. Уровень рентабельности повысился на 29%, при уменьшении себестоимости на 1,9 руб./кг. При применении Экстрасола с азотно-фосфорными удобрениями уровень рентабельности повышался в сравнении с вариантом, на котором использовались азотно-фосфорные удобрения при посеве, на 7%, при уменьшении себестоимости 0,5 руб./кг.

При внесении Экстрасола для обработки семян на фоне припосевного внесения минеральных удобрений обеспечивало получение наиболее оптимальных показателей энергетической эффективности выращивания льна масличного в опыте. Энергетическая эффективность составила 3,76. На этом варианте сформированы минимальные затраты на формирование основной продукции 6,32 ГДж/т.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

При возделывании льна масличного на черноземе обыкновенном Нижнего Дона с очень низкой и низкой обеспеченностью почвы подвижным фосфором и высокой обменным калием по Мачигину для достижения урожайности маслосемян 1,96 т/га азотно-фосфорные удобрения целесообразно применять при посеве в дозе $N_{30}P_{30}$.

Для увеличения эффективности минеральных удобрений необходимо осуществлять предпосевную обработку семян микробиологическим удобрением на основе ризосферных бактерий *Bacillus subtilis* Ч-13 Экстрасол (200 мл/тонну).

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Учитывая высокую зависимость между содержанием общего азота в растениях льна и урожайностью маслосемян целесообразным является изучение возможности применения азотных удобрений (КАС, карбамид) некорневым способом в системе удобрения культуры совместно с биопрепаратами и минеральными удобрениями (основным внесением в почву) на черноземных почвах Нижнего Дона.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Аветисян, Д.Р.** Эффективность применение минеральных удобрений и бактериальных препаратов под лён масличный на черноземе обыкновенном в условиях Ростовской области / Д.Р. Аветисян, Р.А. Каменев // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2023. – № 2(48). – С. 43-49. (0,33 п.л., авт. – 0,25).
2. **Аветисян, Д.Р.** Применение минеральных удобрений и бактериальных препаратов при выращивании льна масличного на черноземе обыкновенном в условиях Нижнего Дона / Д.Р. Аветисян, Р.А. Каменев, В.К. Каменева // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 8. – С. 4-9. (0,30 п.л., авт. – 0,18).
3. **Аветисян, Д.Р.** Влияние способов и сроков применения минеральных удобрений на урожайность льна масличного на черноземе обыкновенном в условиях Ростовской области / Д.Р. Аветисян, Р.А. Каменев // Вестник аграрной науки. – 2024. - №1(106). - С. 57-63.(0,35 п.л., авт. – 0,22).

В прочих изданиях:

4. **Аветисян, Д.Р.** Влияние способов и сроков применения минеральных удобрений на урожайность льна масличного в условиях Нижнего Дона / Д.Р. Аветисян // Развитие аграрной науки и практики: состояние, проблемы, перспективы: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Персиановский, 26 мая 2023 года. – Персиановский: ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2023 – С. 87-90. (0,18 п.л., авт. – 0,18).
5. **Аветисян, Д.Р.** Эффективность применения бактериальных препаратов при выращивании льна масличного на черноземе обыкновенном в условиях Нижнего Дона / Д.Р. Аветисян // Актуальные проблемы использования почвенных ресурсов и пути оптимизации антропогенного воздействия на агроценозы: земледелия: материалы международной научно-практической конференции, Персиановский, 26 октября 2023 года. – Персиановский: ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2023. – С. 142-145. (0,16 п.л., авт. – 0,16).
6. **Аветисян, Д.Р.** Экономическая оценка применения минеральных удобрений при возделывании льна масличного в условиях Нижнего Дона / Д.Р. Аветисян, Р.А. Каменев // Инновационные пути решения актуальных проблем АПК

России: материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Персиановский: ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2023. – С. 3-7. (0,20 п.л., авт. – 0,15).

7. **Аветисян, Д.Р.** Эффективность применения минеральных удобрений при возделывании льна масличного в условиях Ростовской области / Д.Р. Аветисян, Р.А. Каменев // Аграрная наука и производство в условиях становления цифровой экономики Российской Федерации: материалы международной научно-практической конференции. – пос. Персиановский: Донской ГАУ, 2024. – С. 23-26. (0,15 п.л., авт. – 0,08).

8. **Аветисян, Д.Р.** Применение минеральных удобрений и бактериальных препаратов под лён масличный в условиях Ростовской области / Д.Р. Аветисян, Р.А. Каменев // Теория и практика современной аграрной науки: Сборник VII национальной (всероссийской) научной конференции. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2024. – С. 31-34. (0,16 п.л., авт. – 0,10).