

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

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

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук,
доцент Р.А. Каменев

пос. Персиановский - 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЬНА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ И БИОПРЕПАРАТОВ В ТЕХНОЛОГИЯХ ЕГО ВЫРАЩИВАНИЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)	10
1.1 Биологические особенности льна масличного и потребление элементов минерального питания	10
1.2 Применение минеральных удобрений под лён масличный	15
1.3 Применение микробиологических препаратов при выращивании масличных культур	24
2. УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ	36
2.1 Характеристика почвы опытных участков	36
2.2 Погодно-климатические условия при проведении полевых опытов	37
2.3 Методика выполнения полевых и лабораторных исследований	42
3. СОДЕРЖАНИЕ ПРОДУКТИВНОЙ ВЛАГИ И ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ В ПОЧВЕ ПОД ЛЬНОМ МАСЛИЧНЫМ	46
3.1 Динамика содержания продуктивной влаги в почве под льном	46
3.2 Динамика элементов минерального питания в почве под льном масличным	48
4. БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ ЛЬНА И СОДЕРЖАНИЕ В НИХ ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ	77
4.1 Биометрические показатели растений льна масличного	77
4.2 Изменение содержания NPK в растениях льна	83
5. ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И БАКТЕРИАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ	90
5.1 Урожайность льна масличного	90
5.2 Масличность и сбор масла в урожае льна масличного	99
6. ВЫНОС И БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО	103
7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И БАКТЕРИАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ ПОД ЛЁН МАСЛИЧНЫЙ	113
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	117
Рекомендации производству	121
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ	121

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	122
Приложение 1 " Среднегодовое количество осадков, температура воздуха и относительная влажность воздуха (метеостанция пос. Маргаритово)"	136
Приложение 2 " Погодные условия в 2020-2021 сельскохозяйственном году (метеостанция пос. Маргаритово)"	136
Приложение 3 " Погодные условия в 2021-2022 сельскохозяйственном году (метеостанция пос. Маргаритово)"	137
Приложение 4 " Погодные условия в 2022-2023 сельскохозяйственном году (метеостанция пос. Маргаритово)"	137
Приложение 5 " Содержание продуктивной влаги в почве под льном масличным в 2021 г., мм"	138
Приложение 6 " Содержание продуктивной влаги в почве под льном масличным в 2022 г., мм "	138
Приложение 7 " Содержание продуктивной влаги в почве под льном масличным в 2023 г., мм "	138
Приложение 8 " Динамика обменного калия в слое почвы 0-40 см в 2021 году, мг/кг"	139
Приложение 9 " Динамика обменного калия в слое почвы 0-40 см в 2022 году, мг/кг"	140
Приложение 10 " Динамика обменного калия в слое почвы 0-40 см в 2022 году, мг/кг"	141
Приложение 11 " Содержание основных элементов питания в растениях льна масличного в 2021 году в фазу полной спелости, % абсолютно сухое вещество"	142
Приложение 12 " Содержание основных элементов питания в растениях льна масличного в 2022 году в фазу полной спелости, % абсолютно сухое вещество"	143
Приложение 13 " Содержание основных элементов питания в растениях льна масличного в 2023 году в фазу полной спелости, % абсолютно сухое вещество"	144
Приложение 14 " Структура урожайности льна масличного "	145
Приложение 15 "Акты внедрения"	146
Приложение 16 "Дисперсионный анализ данных"	150

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований. В настоящее время в связи с часто повторяющимися засухами в Ростовской области резко снизилась урожайность подсолнечника – основной масличной культуры в регионе. Поэтому в структуре посевных площадей сельскохозяйственных предприятий широкое распространение получила такая культура как лён масличный. Лён масличный является распространённой и перспективной масличной культурой.

Отличительной особенностью льна масличного является его адаптивность к различным почвенно-климатическим условиям, что делает его привлекательным выбором для сельскохозяйственных предприятий Ростовской области. Культура предпочитает регулярные осадки, но также имеет способность переносить засушливые периоды, что важно в условиях данного региона с непостоянным климатом (В.В. Коломейченко, 2022).

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). Основные посевы сосредоточены в ЦФО. Но интерес к культуре растет в Уральском ФО, а также в Сибири. К 2025 году посевная площадь культуры в России может составлять 1768 тыс. га при достижении урожайности 1,5 т/га (<https://www.rosflaxhemp.ru>).

Но потенциальная урожайность маслосемян распространенных сортов льна может составлять 3 т/га, а содержание масла и белка в семенах – до 50% и 33% соответственно. При экономической оценке установлено, что выращива-

ние льна масличного является более рентабельным, чем озимой пшеницы или рапса (Н.В. Степных и др., 2022).

В 2023 году посевные площади льна масличного достигли впечатляющих 37 554 гектаров, что было сопровождено урожайностью в районе 1,1-1,2 тонны на гектар (<https://сельхозпортал.рф>). Также лён масличный является хорошим потенциальным предшественником для озимой пшеницы.

Однако для Ростовской области лён масличный представляет новую культуру, поэтому вопросы его питания на черноземных почвах здесь остаются пока малоизученными.

В связи с этим научные исследования по разработке системы удобрений масличного льна для условий недостаточного увлажнения являются актуальными и очень востребованными сельскохозяйственными производителями Юга России.

Степень её разработанности. С 2005 по 2023 годы на кафедре агрохимии и экологии имени профессора Е.В. Агафонова ФГБОУ ВО Донского государственного университета 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. Разумнова (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. Это являлось основанием для установления эффективности использования микробиологических препаратов при выращивании льна масличного.

Цель 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 NPK для характеристики питания льна на черноземе обыкновенном Нижнего Дона, что характеризует формирование 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, представленные 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 мето-

дик, 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, проведённых 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.

1 БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЬНА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ И БИОПРЕПАРАТОВ В ТЕХНОЛОГИЯХ ЕГО ВЫРАЩИВАНИЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Биологические особенности льна масличного и потребление элементов минерального питания

Лён обыкновенный культурный *Linum usitatissimum* относится к семейству льновых *Linaceae*, растение травянистое, однолетнее, яровое, длинного дня. Лён масличный отличается особенностями поглощения элементов минерального, так как поглощает в течение вегетации на формирование своей биологической массы значительное количество NPK. Но поглощение их идёт очень неравномерно за весь период развития растения до полной спелости. Критическим периодом, оказывающим наибольшее влияние на урожай маслосемян, является период вегетации всходы - фаза «ёлочка». Содержание оптимального количества элементов минерального питания на начальных этапах вегетации обуславливает запланированный рост растения, формирование высокого урожая маслосемян с высоким содержанием масла. При этом необходимо учитывать, что потребление NPK в течение вегетации льна существенно варьирует из-за погодных-климатических условий, обеспеченности почвы NPK, а также характеристики сорта (А.Б. Дьяков, 2006).

На начальном этапе онтогенеза растения льна очень медленно растут и отличаются незначительным накоплением NPK в сухом веществе (Д.Б. Жамалова, 2017).

Но в течение первых двух недель интенсивного формирования вегетативной массы происходит поглощение более 50% необходимого количества питательных веществ за весь период вегетации. Наибольшее поглощение макроэлементов отмечается за период бутонизация-формирование маслосемян. Де-

фицит NPK в эти критические периоды, как правило, обуславливает резкое снижение урожайности маслосемян (В.В. Коломейченко, 2022).

Максимальное поглощение из макроэлементов NPK культурой относится к азоту. Азотное питание оказывает существенное и разноплановое действие на развитие растений. При сбалансированном обеспечении фосфором и калием азот обеспечивает быстрый рост вегетативной массы, но при этом увеличивает период цветения и созревания (Г.В. Вихорева, 2001; М.Н. Тишков, 2005). Недостаток этого элемента в течение вегетации в период всходы-бутонизация наносит непоправимый ущерб формированию будущего урожая. Дефицит азотного питания в течение первых 3 недель после посева также резко уменьшает урожайность маслосемян (Ю.А. Шанский, 1966; П.Д. Музыкантов, Н.К. Панкова, 2003).

Наибольший пик потребления азота отмечается в фазу бутонизации, но к моменту формирования коробочек потребление этого элемента резко снижается. Учитывая данные биологические особенности культуры, можно прогнозировать оптимальные сроки азотной подкормки льна масличного.

Однако, при применении избыточных доз азотных удобрений на растениях льна интенсивно развивается ржавчина, происходит нарастание мощной вегетативной массы, накопление азота в растениях способствует развитию патогенов. Увеличивается насыщенность тканей водой, истончается величина клеточной оболочки. Это способствует облегчению попадания возбудителей болезней в ткани растений и обеспечивает всплеск развития болезней (В.А. Прудников, 2016). Профицит данного элемента питания обеспечивает увеличение межфазных периодов, задерживается формирование соцветий, что приводит к неравномерному созреванию маслосемян и затягиванию сроков уборки. Также существенным недостатком избыточного азотного питания является снижение содержания масла, а также увеличивается склонность к полеганию посевов льна (Р.И. Шамурзаев, 2009).

Наибольшее содержание азота в течение вегетации отмечается в различных вегетативных и генеративных органах масличного льна. Например, в фазу «ёлочка» – это листья, в фазе бутонизации – листостебельный аппарат, в полную спелость – семена. При этом необходимо учитывать, что азот поглощается растениями вплоть до цветения, так как после этой фазы в почве к уборке запас нитратного азота повышается, что может свидетельствовать о снижении его потребления растениями (В.К. Дридигер, 2013).

При выборе научно-обоснованных доз азотных удобрений при выращивании льна уменьшается распространение болезней и нанесение ущерба вредителями, так как повышаются адаптивные возможности растений к действию факторов окружающей среды (А.К. Сулейменова, 2019).

На начальном этапе вегетации растения льна очень требовательны к дефициту фосфора, который обеспечивает интенсификацию созревания и увеличение урожайности маслосемян и масличности. При этом существенно ускоряется развитие растений и сокращается вегетационный период. Поглощение фосфора из почвы происходит в течение всего вегетационного периода. Но пик поглощения приходится на относительно короткий период вегетации в фазу бутонизация и цветение. При достаточной обеспеченности почвы подвижным фосфором растения льна образуют мощную, хорошо разветвленную корневую систему, что существенно увеличивает коэффициент использования минеральных удобрений (М.Н. Тишков, 2002).

При дефиците фосфора лён угнетается в начальный период вегетации, особенно от появления всходов до фазы «ёлочка». Из-за острого недостатка данного элемента могут формироваться мелкие, светло-зеленые листья с голубым оттенком, жизненный цикл которых краткосрочен. Дефицит подвижного фосфора в «критический» период развития до формирования 5-6 пар листьев, оказывает непоправимое на величину формирующегося будущего урожая льна семян. Дефицит фосфора в питании растений нельзя поправить применением

удобрений в последующих этапах вегетации, даже при интенсивном применении фосфорных удобрений (Ю.А. Шанский, 1966; Н.В. Карамнова, 2018).

Третьим макроэлементом в питании льна, как и других сельскохозяйственных культур, является калий. Калий обеспечивает повышение количества маслосемян в коробочке. При выборе рационального уровня в обеспечении растений калием уменьшается вероятность полегания посевов растений. Пик потребления калия приходится на первые 21 день вегетации вплоть до фазы бутонизации (А.К. Сулейменова, 2019).

Принимая участие в процессах ассимиляции CO_2 , окислительно-восстановительных процессах и формировании белка и углеводов, калий входит в состав формирующегося растения (А.Х. Шеуджен, 2006). Достаточный уровень питания растений льна калием необходимо обеспечить уже с начального периода вегетации. Потребление калия, как и фосфора, отмечается в течение всего вегетационного периода культуры, но пик поглощения отмечается в межфазный период бутонизация-цветение, а также в период формирования маслосемян. При этом дефицит калия в первый критический период проявляется существенно тяжелее для формирования будущего урожая (Н.И. Ларцев, Н.И. Перегудов, 1955).

При обеспечении питания растения льна микроэлементами особое внимание следует уделить к обеспеченности бором, так как он существенно уменьшает поражение растений бактериальными болезнями, что, в конечном итоге, обеспечивает увеличение урожайности (Н.В. Карамнова, 2018). Дефицит бора снижает урожайность маслосемян, особенно при применении высоких доз минеральных удобрений. Это наиболее характерно для засушливых погодных условий. Поэтому целесообразность применения борсодержащих удобрений не вызывает сомнений. Бор участвует в фенольном обмене, увеличивает активность процесса образования сахаров (А.К. Сулейменова, 2019).

Обеспеченность растений цинком улучшает ферментативную деятельность, оказывает действие на синтез углеводов и аминокислот, а также форми-

рование ауксинов. Недостаток этого микроэлемента снижает интенсивность роста растений и уменьшает урожайность маслосемян (Я.В. Пейве, 1963).

Медьсодержащие удобрения обеспечивают увеличение устойчивости растительных организмов к неблагоприятным условиям среды: перепадам температур, засушливым условиям, а также к поражению различным заболеваниям (Б.А. Ягодин, С.В. Торшин, 1992).

Действие марганца в значительной доле определяется его наличием в составе ферментов, регулирующих окислительно-восстановительные процессы, декарбоксилирование, гидролиз (А.Н. Есаулко, 2006).

При дефиците таких микроэлементов как цинк, бор и железо, лён формирует слаборазвитую корневую систему, растения отстают в росте. Проявляются признаки кальциевого, карбонатного или комплексного хлороза. На известкованных почвах с кислом рН отмечается химическое связывание в почве микроэлементов, что снижает их подвижность из-за их перехода в малодоступные для растений формы. Отличительным признаком нехватки микроэлементов являются крапчатый, краевой или общий хлороз, замирание точки роста, формирование густой розетки, опад бутонов, высыхание верхушечной части растений. На доступность в почве для льна микроэлементов существенно влияют погодно-климатические условия. Особенно в засушливых условиях симптомы их недостатка увеличиваются (А.К. Сулейменова, 2019).

В результате исследований Кузнецова Г.Н. (2004) зафиксировано, что содержание NPK в растениях льна в максимальной степени отмечается в маслосеменах, чем в побочной продукции, кроме калия. Концентрация азота в маслосеменах льна варьировала от 3,15-3,50%, в вегетативной массе от 0,63-1,10%, фосфора соответственно 0,82-1,19% и 0,11-0,28%. При этом калия в маслосеменах было 0,75-0,88%, в побочной продукции 1,58-1,70%.

Максимальное потребление элементов питания происходит в период формирования репродуктивных органов в фазу цветения, когда поглощение

азота составляет 90% и более, а фосфора к концу этой фазы – более 50% (С.Л. Белопухов, 2002; А.Т. Куанышкалиев, 2008).

Таким образом, учитывая особенности поглощения элементов минерального питания растениями льна масличного, обусловленные биологическими особенностями культуры, погодно-климатическими условиями окружающей среды, может быть сформированы основы для разработки научно-обоснованной системы удобрения этой культуры, обеспечивающей формирование стабильных урожаев семян с высоким содержанием масла. С учетом достаточно высоких требований культуры к обеспеченности почвы элементами минерального питания в течение всей вегетации из-за относительно слаборазвитой корневой системы, формирование стабильных и высоких урожаев культуры обеспечивается только при применении удобрений.

1.2 Применение минеральных удобрений под лён масличный

Для обеспечения планируемых урожаев маслосемян льна необходимо уже с начального периода вегетации в полной мере обеспечить растения необходимыми питательными элементами для обеспечения максимального поглощения ещё слаборазвитой корневой системой (В.В. Церлинг, 1990). При этом необходимо учитывать, что основной рост стебля происходит за 10-16 дней. Из-за этого недостаток питания в это время наносит невосполнимый урон урожаю льна.

Продуктивность маслосемян при выращивании культуры на черноземах определяется обеспеченностью азотно-фосфорным питанием, в первую очередь эффективность которого характеризуется уровнем применения минеральных удобрений. Поэтому их дозу устанавливают путем проведения агрохимического анализа почв и нормативов биологических потребностей растений (В.В. Степанюк, 2001).

Более слабая эффективность навоза, в сравнении с минеральными удобрениями, объясняется тем, что лен масличный, имея короткий вегетационный

период, не может использовать в достаточной степени питательные вещества навоза, которые медленно минерализуются. Поэтому навоз целесообразнее вносить под предшествующую культуру (Шанский Ю.А., 1966). При посеве льна по пласту многолетних трав удобрения не вносят (А.Я. Максимова, С.А. Геворкянц, 1944).

Внесенный азот удобрений используется культурой примерно на 60–70%, фосфор – на 12–25, калий – на 45–65% (Н.В. Карамнова, 2018).

При формировании 100 кг маслосемян с соответствующим урожаем вегетативной массы культура поглощает из почвы 5,1-6,6 кг азота, 1,1-1,7 кг фосфора, 4,1-5,6 кг калия (А.К. Сулейменова, 2019).

Установлено, что в процессе выращивания льна и формирования наибольшего уровня продуктивности маслосемян льна масличного в зависимости от условий увлажнения нормы азотных удобрений с учетом обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия могут варьировать в диапазонах от 50 до 110 кг/га (А.М. Богук, 1995).

Доказано, что из-за большого наличия влаги в 2020 году, также как и при её нехватке в 2021 г. продуктивность маслосемян резко уменьшалась. Внесение удобрений в условиях избыточного увлажнения 2020 год урожайность маслосемян уменьшилась на 28,0% по сравнению с оптимальными условиями 2018 и на 31,9% – с урожайностью 2019 года, а в условиях засухи 2021 г. – на 16% и 20,5 % (Н.А. Сапего, 2022).

И.А. Лошкомайников (2011) на черноземах Западной Сибири установил, что под лён масличный целесообразно применять азотно-фосфорные удобрения в дозе $N_{60}P_{60}$, а при низком содержании обменного калия в почве целесообразно вносить удобрения в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$.

При низком уровне содержания минеральных элементов под лён целесообразно применять удобрения в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$, а при среднем уровне $N_{30}P_{30}K_{30}$ или $N_{30}P_{30}$ (А.Х. Шеуджен, 2007).

Установлено, что на черноземах и каштановых почвах под лён масличный целесообразно вносить удобрения в дозе $N_{60}P_{60}K_{30}$. На черноземе выщелоченном Краснодарского края система удобрения льна включает допосевное применение $N_{30}P_{30}$ и N_{30} в подкормку. На серых лесных почвах дозы минеральных удобрений возрастают – $N_{50}P_{90}K_{70}$. В Нечерноземной зоне на дерново-подзолистых почвах максимальный урожай маслосемян льна достигнут при внесении доз удобрений $N_{61-77}P_{22}K_{70-90}$ (В.М. Лукомец, 2013)

По результатам трехлетних полевых опытов на черноземе выщелоченном в условиях Кабардино-Балкарской республики установлен, что для достижения максимальной урожайности маслосемян необходимо использовать удобрения в дозе $N_{60}P_{60}K_{30}$. Прибавка урожайности к контролю составляла 5,6-7,0 ц/га. Дальнейшее увеличение дозы минеральных удобрений было неэффективно для повышения урожайности маслосемян (Р.И. Шамурзаев, 2009).

При проведении исследований в Тульской области пик урожайности культуры получен от удобрений в дозе $N_{90}P_{90}K_{90}$. Но наибольший экономический эффект достигнут от применения минеральных удобрений припосевным способом в дозе 40 кг/га (В.И. Северов, 2000).

А.Т. Куанышкалиева (2006) установил, что на черноземе южном с низким содержанием минерального азота в сорокасантиметровом слое почвы, средней обеспеченностью подвижным фосфором и повышенной – обменным калием, от внесения азотно-фосфорных удобрений урожайность маслосемян увеличивалась слабо, а применение калийных удобрений являлось малоэффективным. Но внесение только минеральных удобрений в дозах N_{30} , N_{60} и N_{90} достоверно увеличивало продуктивность по сравнению с контролем на 2,1; 4,3 и 6,9 ц/га.

Решающее значение при внесении удобрений имеет способ и срок применения минеральных удобрений. При весеннем внесении удобрений и заделкой в верхний слой почвы эффект от их применения резко снижается, так как из верхнего слоя почвы быстро испаряется влага и степень использования НРК из удобрений существенно уменьшается (Л. Мищенко, 2006). При нехватке влаги

внесение удобрений локально до посева обеспечивало до 35% увеличение урожая (О. Масляний, 2005). При этом применение азотных удобрений в больших дозах может способствовать перерастанию растений, и сдвигу на две недели наступления полной спелости.

Минеральные удобрения целесообразно применять осенью под вспашку, что обуславливает их достаточно равномерное распределение в пахотном горизонте и доступность для корней растений. При весеннем применении под культивацию минеральные удобрения размещаются в верхнем слое почвы 0-10 см и при его быстром высыхании NPK удобрений становится малоподвижными, слабо доступными для растений. По этой же причине нецелесообразно применять фосфорно-калийные удобрения под предпосевную культивацию почвы на глубину 3–5 см. Эффективность применения удобрений возрастает при локальном припосевном применении. При отсутствии применения удобрений до посева или при посеве, целесообразно внесение азотных удобрений некорневым способом в фазу «ёлочка» карбамидом в дозе N₃₀. Внесение азота некорневым способом не способствует изменению сроков цветения и созревания маслосемян. Для полноценного развития растений льна масличного целесообразно оптимальное обеспечение микроэлементами. Дефицит цинка, бора, железа проявляется отставанием в прохождении межфазных периодов в росте. Нехватку микроэлементов исправляют за счёт предпосевной обработки семян или некорневого применения в фазу «ёлочка». В течение вегетации обработку микроэлементами можно проводить совместно с комплексными удобрениями или в баковой смеси с карбамидом (В.В. Коломейченко, 2022).

З.Б. Борисоник с соавторами (1988) считают, что лучшим способом использования удобрений является внесение их под основную обработку почвы осенью и заделкой плугом и локальным припосевным способом. Применение удобрений сеялкой в дозе 40-60 кг/га суперфосфата увеличивает урожайность к контролю на 0,2-0,3 т/га. Если минеральные удобрения применяются разбросным способом, то после их внесения требуется обязательная заделка в почву.

Некорневую подкормку растений льна комплексными минеральными удобрениями необходимо проводить после высыхания растений от росы для снижения повреждений растений. Некорневая подкормка должна проводиться с учетом обеспеченности почвы основными элементами питания и количества внесенных удобрений. Прикорневую подкормку азотными удобрениями осуществляют в дозах 50-60 кг/га нитратом аммония или 80-100 кг/га сульфатом аммония при высоте льна 4-8 см на слаборазвитых растениях, бледно зеленого цвета с узкими листьями. Из-за высокой обеспеченности почвы калием калийные удобрения практически повсеместно не применяются. Симптомами дефицита калия являются короткие междоузлия и коричневая кайма на кончиках листьев (Е.В. Николаев, А.М. Изотов, Б.А. Тарасенко, 2006).

Наибольший коэффициент использования из минеральных удобрений растениями льна наблюдается только при сбалансированном питании макро – и микроэлементами. Из-за слаборазвитой корневой системы в начале вегетации отмечается низкая способность поглощения ею микроэлементов, поэтому целесообразно проведение некорневой подкормки микроудобрениями от появления всходов до фазы «ёлочка», что обеспечивает их потребность в необходимых микроэлементах и усиливает поглощение из почвы макроэлементов. Применение минеральных удобрений в течение вегетации по листу является эффективным способом оперативного снабжения растений основными макро и микроэлементами в критические фазы развития растений. Высокий эффект достигается при двукратной обработке микроудобрениями: для предпосевной обработки и в течение вегетации некорневым способом (Д.В. Виноградов, 2014).

Установлено, что при использовании для предпосевной обработки семян 0,05%-ного раствора микроудобрений, содержащих цинк и марганец, урожайность увеличивалась на 11,0-15,5% по отношению к контрольному варианту (Г.Н. Кузнецова, 2004).

При выращивании льна масличного на дерново-подзолистой супесчаной почве с низким содержанием микроэлементов при применении минеральных

удобрений до посева в дозе $N_{60}P_{60}K_{120}$ использование микроудобрений некорневым способом в течение вегетации обеспечивало увеличение выноса основных элементов питания с урожаем основной и побочной продукции, который повышался в связи с увеличением дозы микроудобрений. Доказано достоверное влияние медных, цинковых и борных микроудобрений на формирование вегетативной массы и накопление сухого вещества в растениях льна в фазу бутонизация. Более эффективно было их применение в виде микроудобрения Микро-Стим некорневым способом после всходов (Е.Н. Пукалова, 2020).

Существенная прибавка урожая наблюдалась также и при внесении комплексного NPK с микроэлементами В, Zn, Fe, разработанного специально для льна масличного. Внесение этого удобрения в почву перед предпосевной обработкой формировало достоверную прибавку урожайности по отношению к контрольному варианту на 1,7 ц/га или 9,8 %. Это обеспечивало не только увеличение урожайности маслосемян, но и повышение сбора масла в среднем за годы исследований на 160–210 кг/га или 29,0–38,5 % (И.А. Голуб, 2020).

В своей работе Г.Н. Кузнецова (2004) установила, что наибольшее действие на формирование органического вещества растений льна получено от обеспеченности почвы нитратным азотом и подвижным фосфором. Калийные удобрения во влиянии на этот показатель были малоэффективными. В действии удобрений на этот показатель отмечена общая зависимость: с повышением дозы удобрения скорость формирования вегетативной массы льна масличного возрастала. При этом в фазу «ёлочка» в контроле нарастание вегетативной массы происходило медленнее и составляло только 7%, а на варианте с удобрениями в дозе $N_{60}P_{60-90}K_{60-90}$ достигало 11-12%. Но к фазе цветения нарастание вегетативной массы на варианте с удобрениями в дозе $N_{60}P_{90}K_{90}$ на 15-16% превосходило контрольный вариант. К фазе полная спелость формирование органического вещества увеличивалось только на вариантах с дозами $N_{60}P_{60-90}$. Повышение скорости процессов формирования сухого вещества при оптимизации ми-

нерального питания обеспечивало формированию максимального урожая маслосемян.

При проведении полевых опытов О.Ю. Сорокина (2018) установила, что при использовании минеральных и органоминеральных удобрений на растениях увеличивалось количество коробочек, малосемян в них и, в конечном итоге, масса семян с 1 растения. Максимальное количество маслосемян на 1 растении достигало 74 шт., а масса семян с 1 растения - 0,33 г были сформированы при применении удобрений в дозе $N_{45}P_{60}K_{90}$. Повышение дозы азота до N_{60} в составе полного минерального удобрения не обеспечивало повышение количества маслосемян и массы семян с 1 растения. При этом полученные показатели продуктивности были сходными с результатами, полученными при применении комплексного минерального удобрения, содержащего бор с дозой $N_{31}P_{51}K_{31}B_{2,2}$. При этом суммарная доза NPK была в два раза меньше. Наибольший сбор масла достигнут при использовании удобрений в дозах $N_{30-45}P_{60}K_{90}$, который составлял 576–582 кг/га. Применение удобрений в виде нитроаммофоски увеличивало урожайность маслосемян льна в среднем за годы опытов на 12,9%. Применение органоминеральных удобрений, содержащих микроэлементы, некорневым способом в течение вегетации обеспечивало повышение урожайности маслосемян по сравнению с контролем на 2,4–2,8 ц/га (23,5–29,6 %), а по сравнению с внесением азофоски на 9,1–14,5%.

В.А. Гущина и А.С. Лыкова (2017) пришли к мнению, что на формирование 1 ц маслосемян с соответствующим количеством вегетативной массы культура поглощает 5,1–6,6 кг азота, 1,2–1,6 – фосфора, 4,1–5,6 кг калия.

Применение органических удобрений способствует повышению урожайности маслосемян на 1,6–2,2 ц/га. Но при применении навоза КРС происходит существенное зарастание полей сорной растительностью. Это объясняется, как непосредственным попаданием семян сорной растительности с навозом КРС, но и увеличением в почве основных элементов питания растений, что увеличивает конкурентные способности сорных растений по сравнению с растениями

льна. Поэтому навоз вносят только под предшествующие культуры, в дозах рекомендованных зональными системами удобрениями.

Г.Н. Кузнецова (2004) установила существенные изменения структуры урожайности льна масличного под влиянием минеральных удобрений. При внесении увеличивающихся доз минеральных удобрений до $N_{60}P_{90}K_{90}$ повышалась высота 1 растения, количество ветвей и коробочек, а также масса маслосемян с 1 растения.

Применение N_{20} некорневым способом в фазу «ёлочка» повышало урожайность маслосемян в среднем за 2018–2021 гг. на 1,2 ц/га (7,1%); В, Zn – на 1,4 ц/га (7,7%); NK – на 0,6 ц/га (3,6%); NK, В, Zn – на 1,1 ц/га (5,9%), (Н.А. Сапего, 2022).

Следует учитывать, что внесение необходимо осуществлять только в научно-обоснованных дозах минеральных удобрений, так как избыточное количество азота приводит к полеганию посевов перед уборкой. Е.В. Абушинова (2018) в своей работе, в которой изучали продуктивность разных сортов льна от применяемых доз удобрений, указывает на следующие результаты: увеличение дозы азотных удобрений с 30 до 90 кг д.в./га обеспечивало повышение изреживания раннеспелых сортов на 3-6%, что способствовало повышению количества коробочек на 4-6 шт. на 1 растение и массы маслосемян с 1 растения на 0,25-0,46 г. От применения азота в дозах 30 и 60 кг/га увеличивалась урожайность семян льна масличного на 0,22-0,31 т/га. При дальнейшем повышении дозы азота происходило уменьшение прибавки урожайности.

Применение азотных удобрений в дозах N_{40} до посева и N_{20} некорневым способом в фазу «ёлочка» по сравнению с однократным применением дозы N_{60} в почву до посева обеспечивало стабильное увеличение урожайности маслосемян льна сорта Илим на 9,5–10,9 % (Н.А. Сапего, 2022).

Внесение минеральных удобрений в почву в дозе $N_{60}P_{40}K_{80}$ позволяет повысить урожайность маслосемян льна масличного по сравнению с контролем в среднем на 4,0 ц/га или 31,0 %. Применение различ-

ных модификаций микроудобрений совместно на фоне макроудобрений позволяет дополнительно повысить урожайность в среднем на 1,1–1,6 ц/га или 8,5–12,4 % (И.А. Голуб, 2020).

Применение биопрепаратов и регуляторов роста математически достоверно увеличивало урожайность маслосемян подсолнечника. Наибольшая урожайность, которая составила 2,29 т/га, достигнута от применения Мивал Агро (20 г/т для предпосевной обработки семян) и 20 г/га при обработке некорневым способом. При этом повышался диаметр корзинки, увеличивалось число семян, повышалась масса 1000 семян по сравнению с контролем. Также изучаемые биопрепараты и регуляторы роста обеспечивали повышение качества маслосемян подсолнечника (Л.П. Бельтюков, Г.М. Ситало, В.М. Мажара, 2017).

Основным показателем продуктивности льна масличного является масса 1000 семян. При проведении полевых опытов масса 1000 семян была максимальной при обработке посевного материала льна препаратами Гумогель и Циркон и составила 5,44 г. Это обеспечивало увлечение этого показателя по сравнению с некорневым применением микробиологическими удобрениями Гумогель и Фульвогель на 0,3 г (С.С. Скворцов, 2022).

По данным Ю.С. Корнейкова и др. (2012) при применении Эпина и использования минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{90}$ урожайность маслосемян повышалась до 15,7-16,7 ц/га, а при применении Гомобрассинолида - до 17,2 ц/га. Масличность семян варьировала незначительно - 49,8-50,1%.

А.А. Ходянков (2019) доказал, что Эпикастастерон, использованный на фоне $N_{45}P_{60}K_{90}$, способствовал получению 20,5-22,3 ц/га льносемян, достоверному повышению содержания жира в семенах льна до 44,5-45,0%.

1.3 Применение микробиологических препаратов при выращивании масличных культур

Сущность биотехнологий, широко используемых в настоящее время в земледелии, заключается в применении различных микроорганизмов. В процессе жизнедеятельности в почве МО способствуют увеличению в почве легкодоступных элементов минерального питания и обогащают почв продуктами своей микробиологической деятельности, которые могут усваивать растения (БАВ, ферменты, витамины, аминокислоты и пр.), (Vose P.B., 1983; А.А. Завалин, 2015).

Становление органического земледелия, в котором используются только микробиологические препараты, в процессе отказа от агрохимикатов, используемых для увеличения рентабельности аграрного производства, в настоящее время должно являться решающим фактором повышения плодородия почвы (А.А. Завалин и др., 2007; Б.Н. Насиев, 2022).

В условиях аграрного производства широко применяются около 200 марок микробиологических препаратов на основе ассоциативных diaзотрофов, оказывающих существенное положительное действие на продуктивность культур. В РФ осуществляется производство более 20 микробиологических препаратов, в составе которых находятся штаммы ассоциативных бактерий: «Агрофил», «Мизорин», «Экстрасол» и другие (М.М. Умаров, 2007; А.А. Завалин и др., 2002; С.М. Лукин, Е.В. Марчук, 2011).

Биопрепараты повышают микробиологическую активность почвы – микроорганизмы хорошо приживаются и размножаются в почве, тем самым обеспечивая азотное питание и способствуют увеличению продуктивности агроценозов (С.М. Брэй, 1986; Rose S., Parker M., Punja Z.K., 2003; Borkowski et al., 2004).

Доказано, что 85% азота, который фиксирован микроорганизмами, содержится в вегетативной массе растений и ассимилируется на формирование

продуктивности с.-х. культур (Е.Н. Мишустин, Н.И. Черепков, 1982; R.L. Smith end all., 1984).

По сведениям Е.Л. Туриной с соавт. (2015), фиксированный азот атмосферы является экологически безопасным и безграничным ресурсом окружающей среды. Также, поглощение данного вида азота растениями может достигать 100%.

Органическим сырьём (примерно 1,2%) при осуществлении азотфиксации являются растительные остатки (корни и растительный опад), (Vlassak K., Reynders L., 1981; Klemedtsson L., 1987; Burriss R.Y., 2003).

P.J. Dart (1986) показывает, что ресурсом энергии для нормального протекания азотфиксации могут являться органические и зеленые удобрения.

При проведении азотфиксации микроорганизмами расходуются большие запасы энергии. На азотфиксацию молекулы молекулярного азота расходуется 14 молекул аденозинтрифосфорной кислоты (Б.А. Ягодин, 1989).

В настоящее время используется два основных метода для учета азотфиксации. По первому методу используется данные баланса этого элемента в почве, при втором подходе используют изотопы ^{15}N (Delwiche C.C., Wihler I., 1956).

Биопрепараты способствуют повышению фотосинтетической деятельности посевов культурных растений в течение всей вегетации, что проявляется в изменении элементов структуры урожайности культуры – количества и массы семян с 1 растения и, в конечном итоге, на урожайность (О.В. Афанасьева, 2018).

Ключевым вопросом является проблема применения в корнеобитаемый слой почвы бактерий-азотфиксаторов. Установлено, что у таких культур, как рис, кукуруза и, частично, луговые травы способность к азотфиксации проявляется даже при отсутствии инокуляции семян, что подтверждалось накоплением значительного запаса минерального азота в почве более 110 кг/га (Dobereiner J., 1979).

Как отмечает академик В.Г. Минеев (1990) при составлении и расчете ба-

ланса азота в почве, наибольшее привлечение азотфиксации будет способствовать увеличению его приходной статьи.

Количество почвенных микроорганизмов, как и их биологическое многообразие существенно зависит от агротехнических приемов обработки почвы и уровня применения минеральных удобрений. Почвенная биота осуществляет создание огромного запаса элементов минерального питания в почве. МО почвы осуществляют первостепенные роль в деструктировании остатков растений и замыкании биологического круговорота веществ, улучшении структурных особенностей почвы, процессов биологической фиксации азота, микоризных ассоциаций, снижения количества фитопатогенов (В.К. Чеботарь, 2007; И.С. Ганиева с соавт., 2012).

Проведение агротехнических приемов способствует развитию почвенной биоты. Это обусловлено оптимизацией воздушного и водного режима почв (Н.Ф. Клещев, 2014). Эти МО осуществляют позитивное действие на экологическую безопасность агроценозов и существенно увеличивают экономическую рентабельность агропроизводства (В.Н. Лебедев, Г.А. Ураев, 2015).

Растительный организм можно сравнить со сложной экологической системой, в которой разных ступенях находятся микроорганизмы. Каждую ступень почвенной биоты, контактирующей с растительными организмами, разделяют на ризосферную, эпифитную и эндофитную. Ризосферные МО – это группа микроорганизмов, населяющих прикорневую зону растений (В.П. Шабает, 2004)

В ризосфере обитают практически все известные микроорганизмы: бактерии, актиномицеты, грибы, простейшие, водоросли, вирусы, макроорганизмы - нематоды, термиты и др. (Т.В. Аристовская, 1965).

Распространение микроорганизмов на вегетативной массе растительного организма характеризуется существенной зональностью. Эпифиты обнаруживаются чаще всего возле устьиц. В среднем возле устьица находится 5 микроб-

ных клеток. Но при этом на большей части листовой поверхности микроорганизмы не распространяются (В.Т. Емцев, Е.Н. Мишустин, 2005).

Эндифиты – это микробные организмы, проникающие и образующие колонии во внутренних тканях растительного организма. При этом симптомы проявления какого-либо заболевания не проявляются. Бактериальными эндифитами являются бактерии, находящиеся в живых тканях растения без повреждения растительного организма (В.П. Шабаев, 2004).

К.М. Пархомюком (1993) установлено, что урожайность маслосемян подсолнечника повышалась к контролю от действия азотфиксаторов на 0,39 т/га, от фосфоромобилизирующих – на 0,30 т/га.

При проведении опыта Л.И. Ясинская и А.В. Кохан (2008) установили, что применение микробиологического препарата Байкала ЭМ-1 нормой 20 кг/га с последующей заделкой в почву культиватором обеспечивало увеличение продуктивности маслосемян подсолнечника на 0,5 т/га.

Микробиологические азотфиксирующие препараты в настоящее время получили широкое распространение в земледелии. По данным А.А. Завалина с соавторами (2010) за годы проведения полевых опытов в 2006-2010 гг. в условиях РФ, доказано, что в южном регионе урожайность основных полевых культур под действием микробиологических препаратов увеличилась: у пшеницы от Флавобактерина – на 15,1%; кукурузы на зерно от Мобилина – на 10,5%, от Флавобактерина – на 15,6 %; риса от Мобилина – на 15,2 %, от Агрофила – на 13,6%.

Микробиологический препарат Мизорин по сравнению с подобными по действию препаратами характеризуется устойчивостью к дефициту влаги в почве. С микробиологическими препаратами целесообразно использовать прилипатели (А.А. Завалин, 2005).

Также штаммы ризосферных МО могут проявлять фунгицидные свойства против фитопатогенных грибов. Это положительно отражается на урожайности большинства полевых культур. Максимальная эффективность микробиологиче-

ского препарата Мизорин широко проявляется на сорго, подсолнечнике и рапсе (А.А. Завалин, 2005).

При проведении полевых опытов С.Р. Сулейманов (2014) доказал, что на вариантах с использованием биопрепаратов по сравнению с контролем увеличивается количества как выполненных, так и щуплых семян. Наиболее выполненные маслосемена сформированы под действием Экстрасола, используемого для предпосевной, масса 1000 которых составила 80,2 г; от действия Мизорина - 72,5; от Альбита - 72,3; на контрольном варианте - 64,0 г/1000 семян (С.Р. Сулейманов, 2015).

Относительно выбора оптимального срока применения бактериальных препаратов, можно сказать, что оптимальные результаты достигнуты при их применении дважды (для предпосевной обработки семян и некорневое применение в течение вегетации). Установлено, что использование данной схемы с препаратом Мизорин на подсолнечнике степень поглощения азота из удобрений достигала 78%, а при разовом некорневом применении в течение вегетации – только 50% (Р.М. Низамов, 2013)

В среднем за годы исследований (2011–2013 гг.) максимальная продуктивность льна масличного получена по No-Till с использованием микробиологических препаратов. Урожайность составила 0,75 т/га. Прибавка к контролю с традиционной технологией достигала на 0,08 т/га или на 10,5% (Н.Ф. Клещев, 2014). Уровень изменений прибавок урожайности маслосемян под действием микробиологических препаратов находился в пределах от 0,12 до 0,66 т/га или от 7,7 до 44,0 %. При применении препаратов наибольшей эффективностью отличался Азотовит, прежде всего это обусловлено улучшением азотного питания растений и формированием более крупных генеративных органов (А.С. Васильев, 2018).

При использовании эффективных микроорганизмов (ЭМ) осуществляется выращивание продуктов, соответствующих требованиям органического земле-

деля; уменьшение финансовой нагрузки на сельхозпредприятия (Р.Г. Бутенко, 1999).

Для получения максимальной продуктивности маслосемян льна использовали препарат Альбит и минеральные удобрения в дозе $N_{50}P_{50}K_{30}$. Это позволило сформировать на различных сортах 18,9-21,5 ц/га маслосемян с высоким содержанием масла (И.М. Ханиева и др., 2019).

Поэтому возможным путём решения задачи получения планируемых урожаев сельскохозяйственных культур является снижение уровня применения минеральных удобрений и широкое применение микробиологических препаратов, которые могут увеличивать питание растений NP , усиливать формирование биометрических показателей, увеличивать фитосанитарные способности почвы, что в результате позволяет увеличить урожайность маслосемян и сбор масла в урожае (Н.А. Михайловская, 1999).

Поэтому существенным вкладом в азотное питание сельскохозяйственных растений может быть осуществлено за счет микробиологических препаратов в первую очередь ассоциативных азотфиксаторов (А.А. Алферов и др., 2016).

За счёт их применения существенно снижаются дозы используемых минеральных удобрений без риска снижения урожайности сельскохозяйственных культур (А.А. Завалин, 2005; Е.В. Агафонов и др., 2017). Проведение обработки посевного материала небобовых растений микробиологическими препаратами с содержанием diaзотрофов обеспечивает увеличение урожайности от 6 до 72%. Также нужно учитывать, что затраты на применение бакпрепаратов существенно меньше, чем на использование минеральных удобрений. Эффект от микробиологических препаратов увеличивается на фоне «стартовых» небольших доз азота. Оптимальной дозой азота является N_{30} . При дальнейшем её увеличении урожайность сельскохозяйственных культур существенно не повышается (С.Н. Петрова, Н.В. Парахин, 2013).

На Северном Кавказе изучение микробиологических препаратов было начато ещё в XX веке. В 70-х гг. прошлого века фиксация атмосферного азота МО в ризосфере корней небобовых растений получила название ассоциативная азотфиксация (М.М. Умаров и др., 2007).

Микробиологическая фиксация азота, которая проводится почвенными МО, оказывает существенное влияние на жизнь растений. Максимальный вклад в азотное питание растений, помимо симбиотических азотфиксаторов *Rhizobium*, в этот процесс вносят ассоциативные diaзотрофы. Под ассоциативной азотфиксацией подразумевается деятельность, производимая гетеротрофными бактериями либо на поверхности, либо в тканях растительного организма, без формирования морфологически выраженных изменений, а также при взаимном обмене фиксируемым азотом и углеродом (М.И. Чумаков, 2005).

Доказано, что в среднем до 70 % азота, поступающего в почву за счет фиксации микроорганизмами в целом, осуществляется diaзотрофами. По результатам полевых опытов, проведенных на дерново-подзолистых почвах с разными полевыми культурами, доказано, что общее количество азота, полученное за счет фиксации в течение вегетации, может составлять 41–56 кг/га (М.М. Умаров, 1986).

Применение азота минеральных удобрений может вызывать определенные экологические проблемы, так как он используется растениями на 50-60%. Биологический азот является экологически безвредным (Т.Ф. Персикова, 2003).

Важным фактором увеличения фосфатного потенциала почв является микробиологическая фосформобилизация. Под действием микробных организмов из труднодоступных фосфатов дополнительно переходит в водорастворимое состояние 10-40% почвенного фосфора (Н.И. Смян, 1980). Но необходимо учитывать, что микробиологическая фосфатмобилизация имеет существенное значение только в прикорневой зоне. Отсюда максимальная эффективность фосфатмобилизирующих микроорганизмов определяется способностью этих МО заселять прикорневую ризосферу (Н.Г. Коренский, 1987).

В среднем за три года проведения полевых опытов наибольшее количество минерального азота в ризосферной зоне тридцатисантиметрового слоя почвы достигнуто на варианте с использованием на льне масличном бинарного микробиологического препарата Биолинум на фоне внесения удобрения в дозе $N_{45}P_{30}K_{90}$. Его запас в фазу бутонизация достигал 79,7 мг/кг почвы. За период вегетации установлено, что под действием Биолинум увеличивало содержание подвижного фосфора в фазу интенсивного нарастания вегетативной массы на 38 мг/кг; бутонизация – на 36; цветение – на 25 мг/кг, а при использовании смеси биопрепаратов (Ризобактерин + Фитостимофос) соответственно на 32, 29, 21 мг/кг по сравнению с контролем. Наибольший сбор масла в урожае получен при применении на льне масличном микробиологического препарата Биолинум на фоне NPK, которое достигало 294 кг/га (Ю.С. Корнейкова, 2021).

При выращивании льна масличного сорта Северный в условиях Центрального Нечерноземья на дерново-среднеподзолистых супесчаных почвах в системе удобрения льна была проведена некорневая подкормка в фазу «ёлочка» смесью микробиологических препаратов Азотовит (0,3 л/га) и Фосфатовит (0,3 л/га), что обеспечивало получение 2,15 т/га семян (прибавка 42,9% к контрольному варианту) 0,64 т/га сбора масла (прибавка 16,4% к контролю), 0,37 т/га протеина (прибавка 27,6% к контролю) и 0,70 т/га короткого льноволокна (прибавка 14,7 %), (А.С. Васильев, 2018).

На вариантах с биопрепаратами урожайность увеличивалась до 1,2-1,6 т/га (НСР₀₅ 0,2 т/га). Максимальная прибавка маслосемян в первый год проведения полевых опытов достигнута на варианте с Флавобактерином, во второй год – с бакпрепаратами Агрофил и ПГ-5. В среднем за 2 года урожайность маслосемян льна повышалась от предпосевной обработки бакпрепаратами от 0,3 до 0,6 т/га (НСР₀₅ 0,2 т/га) или в относительном выражении на 15-33%. Влияние Флавобактерина обеспечивало увеличение урожайности маслосемян на 33%, Агрофила, ПГ-5 и Мизорина, соответственно, на 27, 25 и 13% (М.А. Носевич, 2018).

Максимальная продуктивность подсолнечника от обработки препаратами БФТИМ и Гумат+7 составляла 3,84 т/га. Это больше, чем на контроле на 0,34 т/га или на 9,7% (И.В. Фетюхин, А.П. Авдеенко, С.С. Авдеенко, Н.А. Рябцева, 2021).

В условиях предгорья Кабардино-Балкарской Республики Р.И. Шамурзаев (2011) установил, что использование бакпрепаратов на льне масличном повышает устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды и заболеваниям, а урожайность по отношению к контролю повышается на 2,5-3,2 ц/га. Наиболее эффективный биопрепарат Байкал ЭМ-1 обеспечил сбор маслосемян – 11,1-12,9 ц/га.

Ю.Г. Милоста (2011) отмечает, что наиболее существенное влияние на образование коробочек, массу 1000 семян и в целом на сбор маслосемян, оказывали комплексные минеральные удобрения в дозе $N_{80}P_{65}K_{120}$, бесхлорные удобрения дозе $N_{60}P_{40}K_{96}$, что способствовало повышению продуктивности маслосемян на этих вариантах от 3,0 до 5,1 ц/га к контролю.

По данным А.Ю. Шанбанович (2017), применение регуляторов роста на льне масличном показало, что максимальный эффект обеспечивает применение препарата Экосил в дозе 0,1 л/т, прибавка составляет в среднем 0,7 ц/га. Анализ данных результатов полевых опытов Е.Н. Пукаловой (2016) на дерново-подзолистой суглинистой почве, показал существенное действие некорневой подкормки в течение вегетации жидкими микроудобрениями МикроСил на продуктивность маслосемян льна масличного в среднем за два повышало прибавку на 0,31-0,45 т/га, при урожайности на контроле 1,42 т/га.

Предпосевная обработка семенного материала подсолнечника агрохимикатом Эпин-Экстра и некорневое применение в фазу 2-3-х пар настоящих листьев способствовала увеличению биометрических показателей растений относительно контрольного варианта. Отмечено массовое прорастание всходов с высокой энергией. Подобные данные достигнуты и по другим стимуляторам роста растений. Но при этом агрохимикаты Эпин-Экстра и Карвитол, ВР спо-

способствовали существенному увеличению показателей продуктивности подсолнечника, чем при применении агрохимикатов Агат-25к, ТПС и Амбиол, КРП (К.З. Бербеков, А.Ю. Кишев, Н.И. Мамсиров, Т.Б. Жеруков, 2018).

Использование микробиологических препаратов под рапс, увеличивало урожайность маслосемян к контролю на 21,2-28,5% без NPK и на 19,7-43,5% на фоне NPK. Наибольшая урожайность достигнута на варианте с применением микробиологических препаратов и азотных удобрений в дозе N_{80} – 2,77 т/га (43,5%), наименьший на варианте без NPK с биопрепаратом Мизорин – 2,34 т/га (21,2%) и с препаратом Ризоагрин – 2,31 т/га (19,7%), (О.В. Афанасьева, 2018).

И.М. Наумович, Я.Э. Пиллюк, В.М. Белявский, Е.П. Решетник (2020) установили высокую хозяйственную эффективность при обработке семян ярового рапса препаратами «АгроМик», Ж, «Бактопин», Ж и «Гордебак», Ж (4,0 л/т). При их внесении урожайность маслосемян достигала 33,6; 34,0 и 35,0 ц/га, превысив показатели контрольного варианта на 2,9; 3,3 и 4,3 ц/га или на 9,3; 10,6 и 14,1 % соответственно. Также при обработке семян рапса препаратами «АгроМик», Ж, «Бактопин», Ж и «Гордебак», Ж (2,0–4,0 л/т) наблюдалась тенденция к увеличению масличности по отношению к контролю на 0,7–1,8%.

Эффект от действия микробиологических препаратов увеличивается с одновременным применением азотных минеральных удобрений. На фоне $P_{60}K_{60}$ без применения азотных удобрений уровень продуктивности оставался небольшим и практически равнялся с результатами использования только микробиологических препаратов (19,7-31,6%). На вариантах с внесением удобрений в дозах $N_{30}P_{60}K_{60}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$ повышение продуктивности достигало пика на вариантах с дозами удобрений 30 кг/га д.в. каждого элемента – и составляло 31,1-43,5% и 29,5-32,1% (О.В. Афанасьева, 2018).

В условиях Ростовской области использование микробиологических препаратов способствовало существенному увеличению масличности и урожайности технических культур.

Использование для предпосевной обработки семян подсолнечника биопрепаратов ПГ-5 и 7 количество масла повышалось на 1,3 и 2,6%. Наибольший сбор масла с 1 га в урожае достигнут от минеральных удобрений в дозе $N_{40}P_{50}$, он увеличился по сравнению с контролем на 279 кг/га или на 33,7%. На вариантах с дозой азота 80 кг/га эффект уменьшился до 16,6-18,4%. Высокий результат дало применение биопрепаратов ПГ-5 и 7, увеличение сбора жира составило 27,6 и 24,1% (Е.В. Агафонов с соавт., 2015).

Использование микробиологических препаратов штаммов 17-1, Флавобактерин, Мизорин, ПГ-5 на подсолнечнике гибрида Донской 1448 достоверного повышения содержания масла в семянках не происходило, но урожайность гибрида возрастала под действием Мизорина 7 и ПГ-5 на 20,0 и 30,5% к контролю (Е.В. Агафонов, А.В. Ващенко, 2015).

По результатам исследований установлено, что использование Агрофила позволяет достичь наилучших результатов в увеличении продуктивности льна масличного. Увеличение урожайности льна масличного при использовании данного препарата составило 0,25 тонны на гектар или 30,9% по сравнению с контрольным вариантом. Совместное действие микробиологических препаратов с припосевным внесением удобрений не приводило к дополнительному увеличению урожайности льна масличного (И.В. Нужнов, 2016).

За период с 2016 по 2018 годы продуктивность сафлора на контрольном варианте составила 1,03 тонны на гектар. Однако, благодаря внесению минеральных удобрений в дозе $N_{48}P_{52}$ перед посевом и инокуляции семян бактериальным препаратом Флавобактерин, продуктивность увеличилась на 18,4%. В течение трехлетнего периода, средняя урожайность сафлора превышала контрольный вариант на 13,6%. Однако исследования показали, что применение штаммов азотфиксаторов на фоне минеральных удобрений неэффективно. При этом, добавка урожайности маслосемян от применения штамма Флавобактерин на естественном фоне плодородия оказалась выше, чем от сочетания штаммов азотфиксаторов с азотно-фосфорными удобрениями (Л.А. Разумнова, 2019).

Представленный анализ литературы подтверждает достаточно высокую эффективность использования микробиологических препаратов при выращивании масличных культур. Но сведений о применении микробиологических препаратов на черноземных почвах Ростовской области в литературе на льне масличном не достаточно. Также как и данных о выборе оптимального способа и срока применения минеральных удобрений в системе удобрения льна масличного в условиях недостаточного увлажнения Нижнего Дона.

2 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Характеристика почвы опытных участков

В Азовском районе Ростовской области наиболее распространенным типом почв является чернозём обыкновенный карбонатный мощный (североприазовский), (Е.В. Агафонов, Е.В. Полуэктов, 1995).

Почвы этого типа сформировались на лессовидных и желто-бурых глинах, поэтому имеют глинистый гранулометрический состав. У североприазовских мощных и среднемошных черноземов происходит снижение количества гумуса по профилю почвы. В тридцатисантиметровом слое почвы содержание гумуса составляет 4,1-4,4%, запасы гумуса в горизонтах А+В достигает 322-331 т/га. Валовые содержание азота в слое почвы 0-30 см составляет 0,19-0,23%, общего фосфора - 0,13-0,16% и калия – 2,56-2,81%.

Обеспеченность почвы подвижным фосфором варьирует от очень низкой до средней (10-29 мг/кг почвы), обменного калия - высокая (500-600 мг/кг почвы). Показатели основных агрохимических параметров почвы перед внесением удобрений в опытах со льном представлены в таблице 1.

Изменения содержания различных форм азота зависят от влияния погодных-климатических условий на протяжении всего вегетационного периода. Минеральный азот является в минимуме в годы с засушливыми условиями, когда микробиологическая деятельность в почве подавлена.

Почвенные карбонаты в верхнем слое почвы обусловлены наличием налетов, паутинок, жилок, характеризующемся схожестью с мицелием гриба, из-за этого черноземы обыкновенные получили название мицеллярно-карбонатных (О.С. Безуглова, 2011).

Таблица 1 - Агрохимические показатели чернозема обыкновенного перед закладкой опыта

Слой почвы, см	рН, ед.	Карбонаты, %	Обеспеченность почвы		
			N _{мин.} , кг/га	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
2021 г.					
0-20	8,1	0,35	41,0	12,1	598
20-40	8,5	0,46	20,2	10,3	536
40-60	8,9	0,60	11,8	-	-
0-40	-	-	61,2	11,2	567
0-60	-	-	73,0	-	-
2022 г.					
0-20	7,6	0,38	13,6	26,2	623
20-40	8,0	0,58	8,2	18,0	561
40-60	8,8	0,92	7,2	-	-
0-40	-	-	21,8	22,1	592
0-60	-	-	29,0	-	-
2023 г.					
0-20	7,8	0,32	11,0	8,9	511
20-40	8,3	0,40	5,3	5,3	443
40-60	8,9	0,78	1,7	-	-
0-40	-	-	16,3	7,1	477
0-60	-	-	18,0	-	-

2.2 Погодно-климатические условия при проведении полевых опытов

Для Азовского района характерен континентальный тип годового хода осадков, при этом имеет место максимум осадков в летнее время. Основной причиной летнего максимума осадков в Азовском районе является активация холодных фронтов атлантических циклонов. Эти фронты обладают большой мощностью и проявляются более часто летом, чем зимой. Таким образом, их воздействие на район значительно влияет на уровень осадков, делая летние месяцы более влажными.

Атмосферные осадки выпадают в твердом, жидком и смешанном виде. Преобладают жидкие осадки, составляющие в среднем за год 68-76%. Отмечаются они весь год, составляя даже в зимние месяцы 17%. Твердые осадки

наблюдаются повсеместно с октября по апрель, составляя в среднем за год 8%. Наибольшая доля твердых осадков отмечается в феврале и достигает 25%. Смешанные осадки отмечаются в период с сентября по апрель, их составляющая от общего количества осадков достигает 14-15%. Азовский район, расположенный в умеренно-континентальном климатическом поясе, предлагает своим жителям и посетителям особый микроклимат. Среднегодовое количество осадков в Азовском районе составляет 520,8 миллиметров, среднегодовая температура воздуха 10,9°C (приложение 1).

Почвенно-климатическая зона в целом благоприятна для возделывания сельскохозяйственных культур. По количеству выпадающих осадков территория района относится к недостаточно увлажненной зоне. С юга на север по территории района текут спокойные реки: Кирпили, Левый Бейсужек, Малёвана, Журавка, Бейсуг. Большим богатством района являются пресные подземные воды Азово-Кубанского артезианского бассейна Кубано-Приазовской низменности (А.Х. Шеуджен, Н.Н. Нецадим, Л.М. Онищенко, 2009). Территория района подвергается воздействию ветров всех направлений, но преобладающими являются западные, юго-западные и северо-западные. Весной и летом эти же ветры носят характер суховеев (Ю.П. Хрусталев, В.Н. Василенко, 2002).

В 2020-2021 с.-х. году количество выпавших осадков достигало 541,9 мм, что больше среднемноголетних показателей на 21,1 мм (рисунок 1, приложение 2). Среднегодовая температура воздуха была увеличена по сравнению со среднемноголетней нормой на 2,5°C, относительная влажность воздуха – на 2,8% (рисунок 2, рисунок 3).

Но при этом существенный дефицит осадков зафиксирован в первый осенний месяц. В целом за осенние месяцы 2020 года выпадение осадков составило лишь 72,3 мм. Недобор составил 51 мм. В сентябре осадки отсутствовали. Их количество составило лишь 0,8 мм.

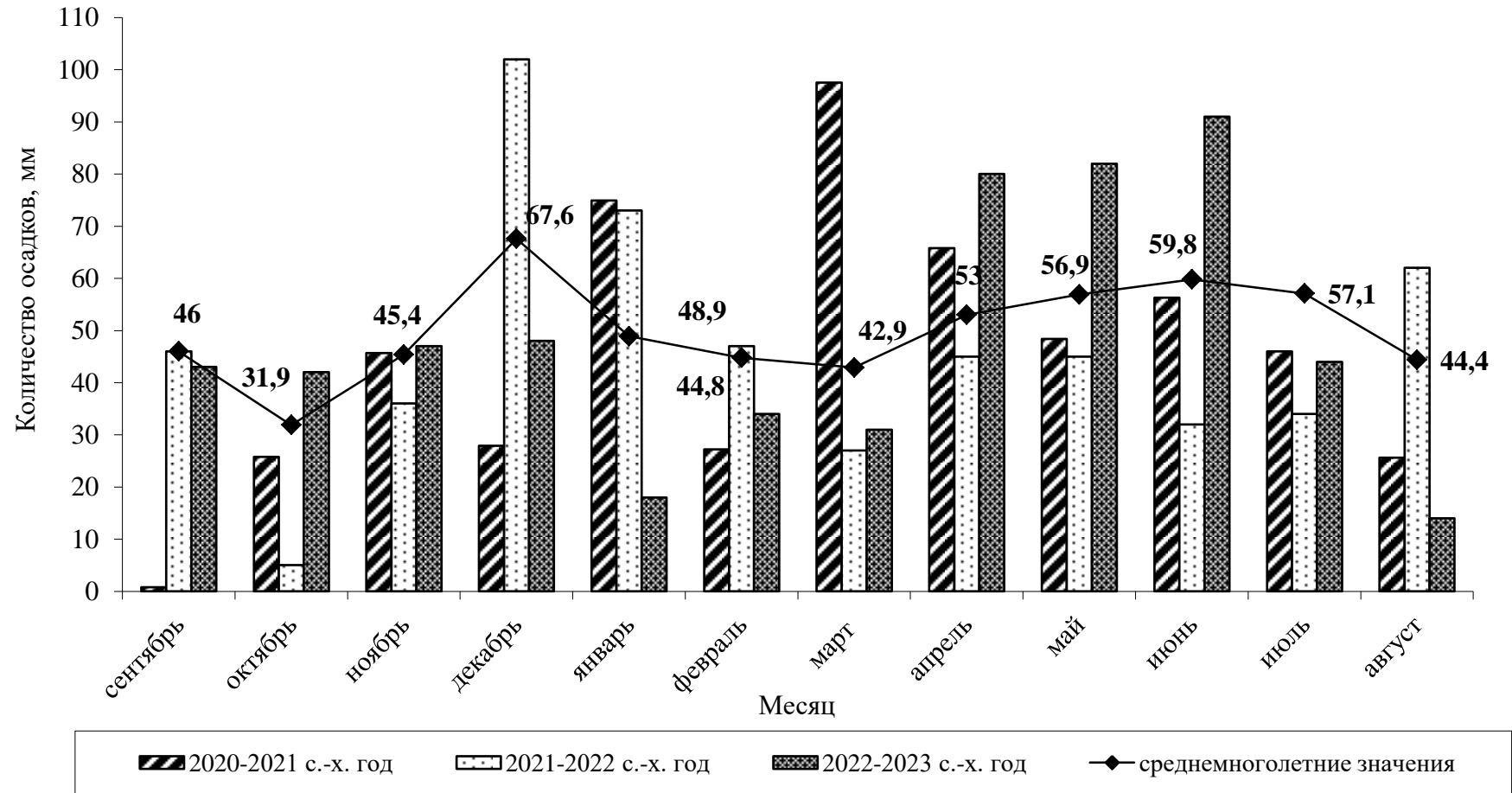


Рисунок 1 - Выпадение осадков по данным метеостанции пос. Маргаритово

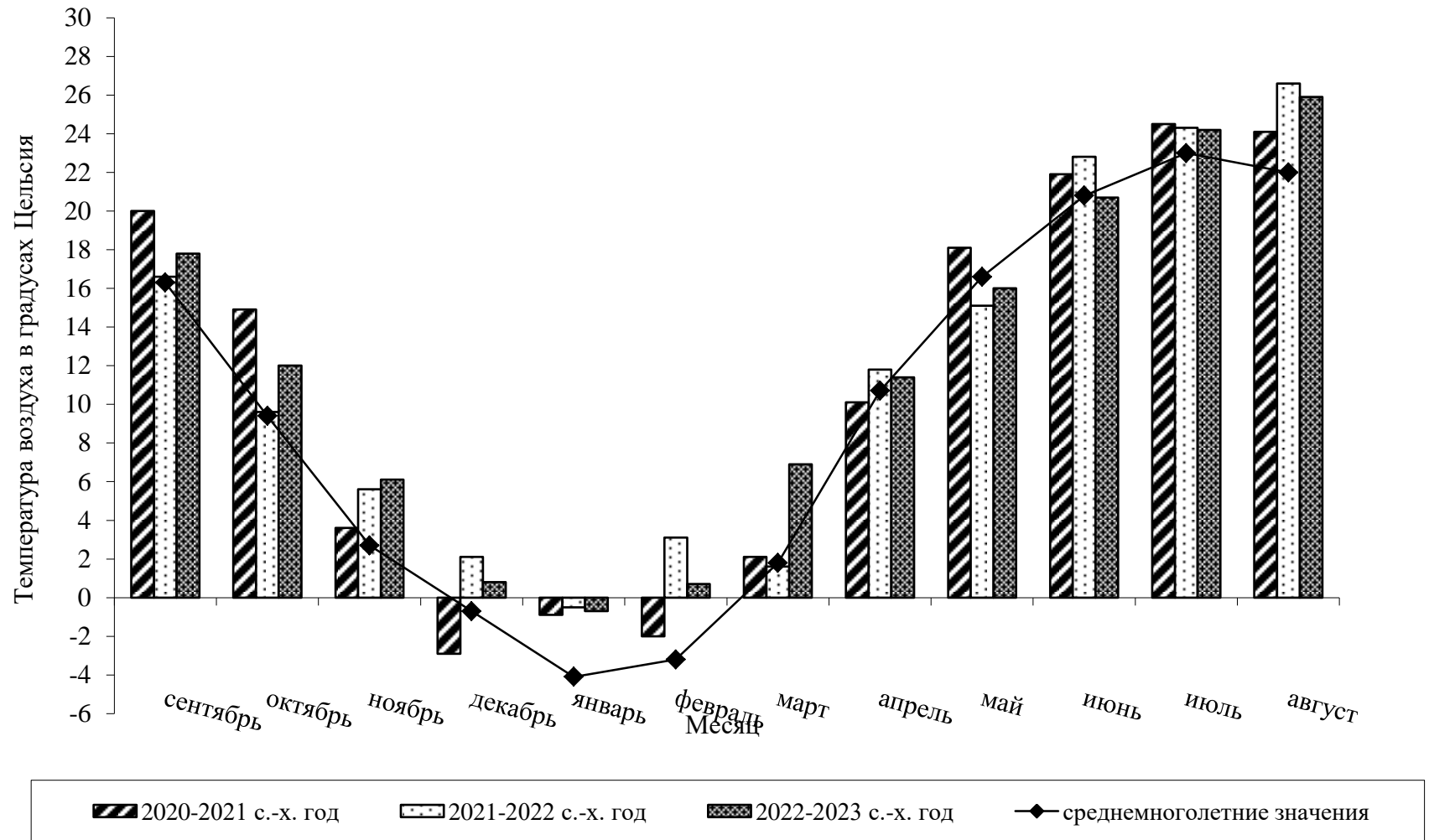


Рисунок 2 - Среднемесячная температура по данным метеостанции пос. Маргаритово

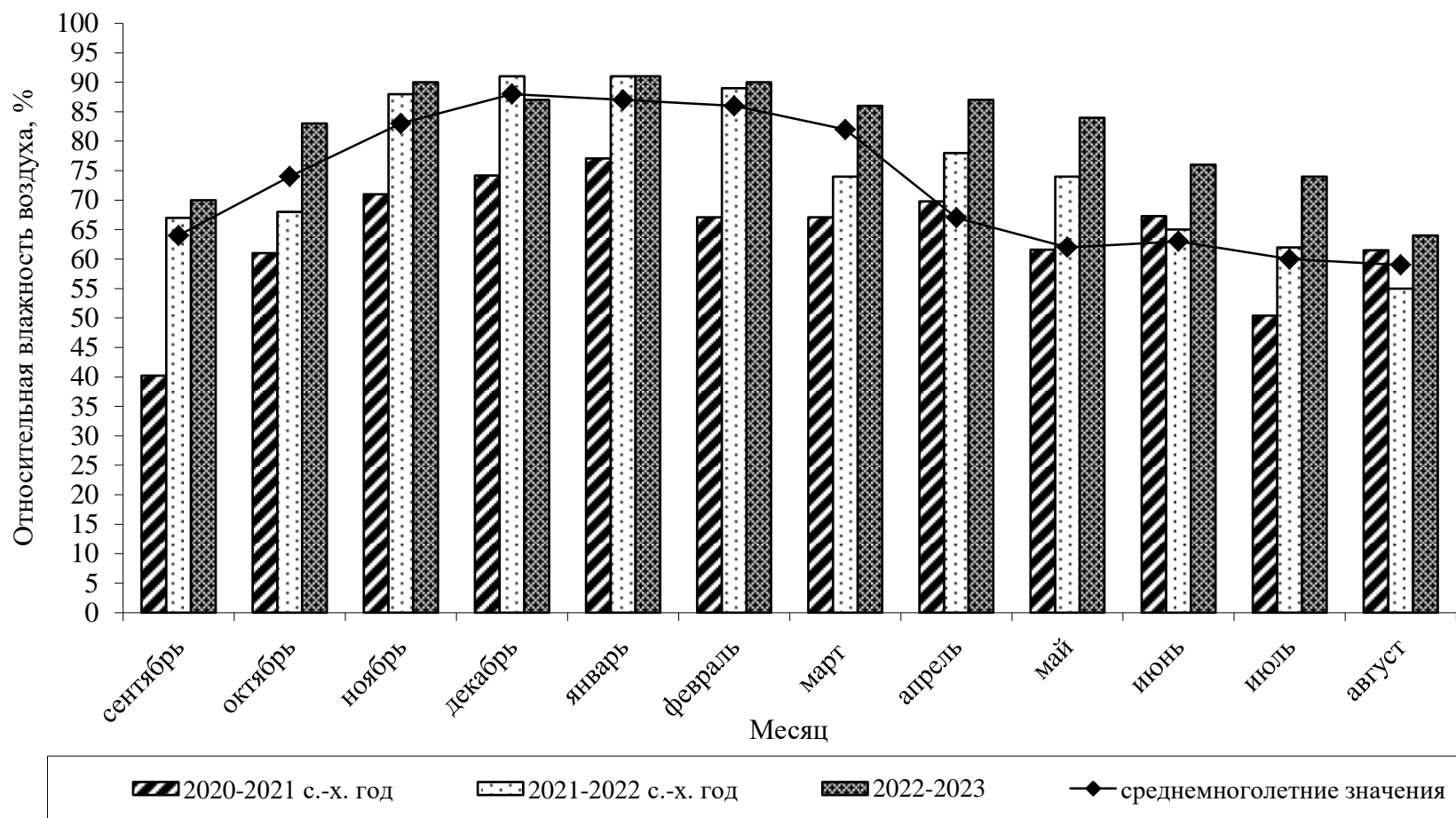


Рисунок 3 - Относительная влажность воздуха по данным метеостанции пос. Маргаритово

Зимние месяцы отмечены обильным выпадением осадков. Но их выпадение было меньше среднемноголетней нормы 31,3 мм. В целом за три зимних месяца количество осадков достигало 161,3 мм. В весенние месяцы обильное выпадение осадков продолжалось. Их количество практически превысило среднемноголетние нормы на 58,9 мм при среднегодовой норме 152,8 мм.

В летние месяцы выпадение осадков продолжалось. Но, в целом за период летних месяцев, отмечен недобор осадков по сравнению со среднемноголетними нормами, который составил 33,4 мм.

В июне и июле зафиксировано существенное увеличение температуры воздуха – соответственно на 1,1 и 1,5°С выше среднемноголетних значений.

Таким образом, выпадение осадков в течение вегетации льна масличного было удовлетворительным. Это, безусловно, способствовало существенному увеличению урожайности культуры.

В 2021-2022 с.-х. году осадков выпало 554 мм и превысило норму на 33,2 мм (приложение 3). Среднегодовая температура воздуха превысила норму на 0,7°С, а относительная влажность воздуха – на 7,8%.

За осенние месяцы выпадение осадков составило 87 мм, что на 36,3 мм меньше среднемноголетней нормы. Обильным увлажнением характеризовались зимние месяцы. Выпадение осадков превысило норму на 60,7 мм.

В весенние месяцы отмечено снижение интенсивности выпадения осадков. Их выпало на 35,8 мм меньше, чем по среднемноголетним данным. В марте месяце отмечен наибольший недобор осадков – на 15,9 мм меньше нормы.

В летние месяцы отмечен также недобор осадков, который составил 33,3 мм. Существенный недобор осадков зафиксирован в первые летние месяцы. При среднемноголетней норме 116,9 мм их выпало лишь 66,7 мм.

В целом погодные условия 2021-2022 с.-х. года оказали существенное влияние на урожайность изучаемой культуры. Погодные условия периода вегетации льна масличного можно считать неудовлетворительными.

Наиболее обильное увлажнение в годы проведения полевых опытов было зафиксировано в 2022-2023 с.-х. году. Количество выпавших осадков в этом году достигло 574 мм, что больше среднемноголетней нормы на 53,2 мм (приложение 4). Температура воздуха превышала норму на 0,8°С в среднем за год.

Необходимо отметить, что выпадение осадков отличалось крайней неравномерностью в течение сельскохозяйственного года.

В осенние месяцы выпадение осадков составило 132 мм, что лишь на 8,7 мм больше среднемноголетних норм. В зимние месяцы отмечен существенный дефицит осадков. Было зафиксировано снижение их выпадения на 61,3 мм меньше нормы.

В весенние месяцы отмечены обильные осадки. Увеличение по отношению к среднемноголетним нормам за весеннюю декаду составило 40,2 мм. В первый летний месяц обильное выпадение осадков продолжалось. Среднемесячная норма была превышена на 31,2 мм. Но в целом за летний период зафиксирован недобор осадков на 12,3 мм меньше среднегодовой нормы.

Таким образом, можно сделать вывод, что для выращивания льна в 2023 году погодные условия являлись хорошими.

2.3 Методика выполнения полевых и лабораторных исследований

Опыты проведены в 2020-2023 гг. в ООО «Заветы Ильича», расположенном в Азовском районе Ростовской области.

Объекты исследований. Изучался лён масличный сорта Небесный. Оригинатором является ГБНУ "Донская опытная станция имени Л.А. Жданова ВНИИМК". Сорт разрешен к возделыванию в Северо-Кавказском (6) регионе.

Предшественником масличного льна являлась озимая пшеница. Повторность опыта трёхкратная. 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.

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 поделяночно. Химические анализы почвы и растений выполнены на кафедре агрохимии и экологии имени профессора Е.В. Агафонова.

Схема однофакторного опыта со льном масличным состояла:

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 были представлены распространенными марками: аммонийная селитра (34,4% N), аммофос (12-52), хлористый калий (65% K₂O).

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. Симанова; 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. Авдеев и др. (2008); математическую обработку полученных результатов – методами дисперсионного и корреляционного анализов по Б.А. Доспехову (1985) с использованием ПК.

3 СОДЕРЖАНИЕ ПРОДУКТИВНОЙ ВЛАГИ И ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ В ПОЧВЕ ПОД ЛЬНОМ МАСЛИЧНЫМ

3.1 Динамика содержания продуктивной влаги в почве под льном

В предпосевной период под льном масличным в 2021 году количество доступной почвенной влаги в слое почвы 0-100 см достигало 203,4 мм (рисунок 4, приложение 5, приложение 6, приложение 7). Данный запас почвенной влаги характеризовался как высокий по критериям оценки Е.В. Агафонова, Е.В. Полуэктова, (1999).

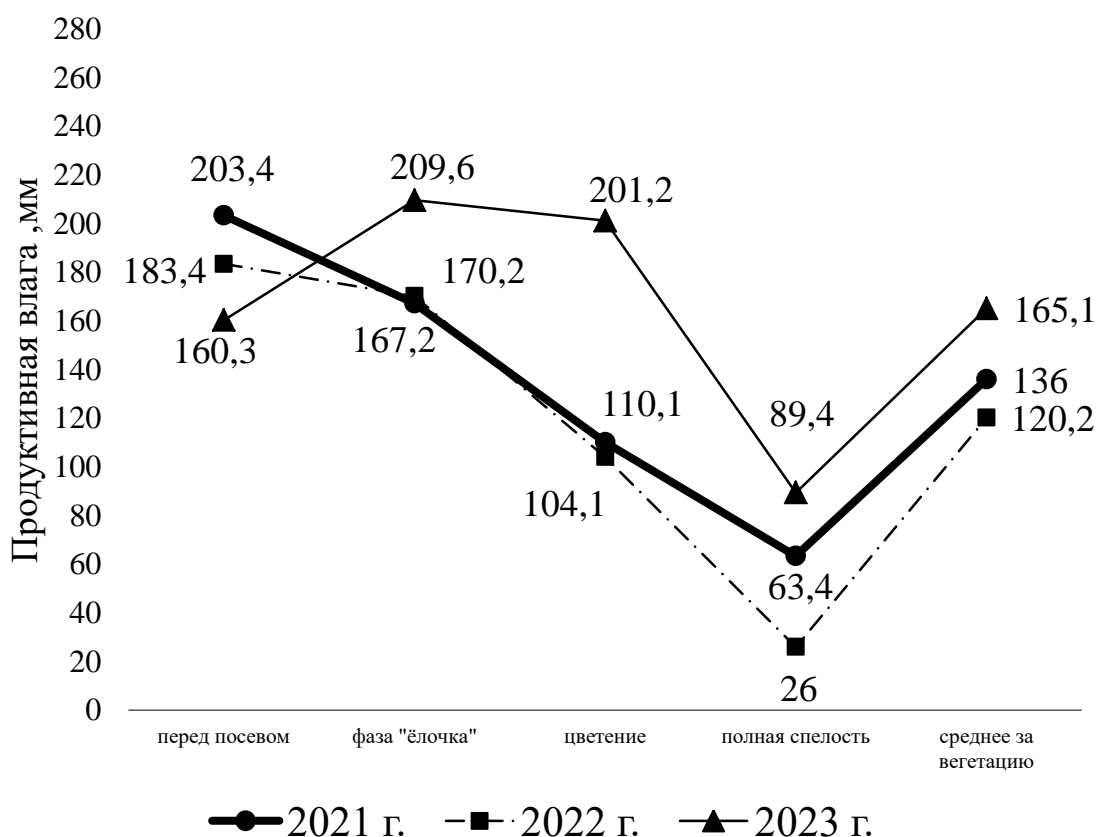


Рисунок 4 – Динамика продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см под льном масличным, мм

От проведения посева до достижения фазы «ёлочка» обеспеченность почвы продуктивной влагой в метровом слое почвы уменьшилось, но лишь

на 36,2 мм. Это было обусловлено обильным выпадением осадков, благодаря которым количество продуктивной влаги поддерживалась на высоком уровне.

От фазы «ёлочка» до уборки льна масличного в слое почвы 0-100 см содержание продуктивной влаги снизилось в 2,6 раза из-за дефицита осадков на завершающем этапе вегетации культуры.

В целом условия влагообеспеченности почвы в течение вегетации льна масличного были удовлетворительными, что благоприятно отразилось на его продуктивности.

Перед посевом льна масличного в 2022 году количество продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см составило 183,4 мм. Данный запас почвенной влаги характеризовался как высокий по градации Е.В. Агафонова, Е.В. Полуэктова (1999).

От посева до фазы «ёлочка» обеспеченность почвы доступной влагой в слое почвы 0-100 см снизилось лишь на 16,2 мм. Это было обусловлено обильным выпадением осадков, благодаря которым влажность почвы поддерживалась на высоком уровне.

От фазы «ёлочка» до цветения льна в слое почвы 0-100 см содержание продуктивной влаги снизилось на 63,1 мм раза из-за дефицита осадков в мае месяце. Особенно резкое снижение отмечено в слое почвы 0-60 см. Запас влаги в почве сократился в 1,8 раза.

К уборке льна масличного содержание продуктивной влаги уменьшилось в слое в почвы 0-100 см по сравнению с содержанием в фазу цветения на 78,1 мм. Это, бесспорно, связано с дефицитом осадков в летние месяцы и потреблением продуктивной влаги растениями льна.

В целом условия влагообеспеченности почвы в течение вегетации льна масличного в 2022 году были неудовлетворительными, что неблагоприятно отразилось на урожайности культуры.

В предпосевной период льна в 2023 году в метровом слое почвы сохранилось 160,3 мм продуктивной влаги.

Обильные осадки в первый весенний месяц обеспечивали существенное увеличение запасов доступной почвенной влаги в метровом слое почвы к фазе «ёлочка» на 49,3 мм.

Продолжающиеся ливневые осадки интенсивно пополняли запасы доступной почвенной влаги в метровом профиле почвы. В фазу цветения они оставались практически на уровне содержания доступной влаги в предыдущую фазу.

В августе месяце после прекращения активного выпадения осадков и установления высоких дневных температур воздуха обеспеченность почвы продуктивной влагой существенно сократилось – в 2,3 раза по сравнению с содержанием в фазу цветения льна масличного.

В целом условия влагообеспеченности почвы в 2023 году в течение вегетации льна можно считать хорошими и это благоприятно отразилось на урожайности культуры.

3.2 Динамика элементов минерального питания в почве под льном масличным

Максимальное количество N-NH₄ в шестидесятисантиметровом слое почвы было перед посевом льна масличного в 2021 году, которое составило 32,0 кг/га. В течение вегетации льна на контрольном варианте в почве отмечено равномерное снижение аммонийного азота, которое происходило от посева до полной спелости культуры. В среднем за вегетацию культуры от фазы «ёлочка» до уборки льна на контроле запас аммонийного азота составил 11,4 кг/га (таблица 2). Снижение содержания N-NH₄ в почве обусловлено его потреблением растениями льна, окислением до нитратной формы нитрифицирующей микрофлорой и, возможно, необменным поглощением в межпакетных пространствах глинистых почвенных минералов при резком уменьшении обеспеченности почвы продуктивной влагой.

Таблица 2 – Запасы аммонийного азота в 2021 году, кг/га (слой почвы 0-60 см)

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «ёлочка»	цветение	полная спелость	
контроль	25,1	7,8	1,2	11,4
применение под предпосевную культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	37,5	10,5	2,4	16,8
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	39,0	11,3	2,1	17,5
N ₄₅ P ₄₅	44,5	9,6	1,9	18,7
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	43,1	10,3	2,0	18,5
N ₆₀ P ₆₀	51,2	11,5	1,8	21,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	53,2	12,1	1,6	22,3
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	35,6	10,2	1,1	15,6
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	36,9	11,5	1,9	16,8
N ₄₅ P ₄₅	45,2	10,6	1,5	19,1
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	48,1	11,3	1,8	20,4
N ₆₀ P ₆₀	55,1	12,4	2,1	23,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	54,2	11,3	2,5	22,7
припосевное внесение				
N ₃₀ P ₃₀	41,0	10,2	2,1	17,8
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	40,5	10,9	2,9	18,1
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	24,4	12,3	2,1	12,9
Мизорин	25,6	11,5	1,8	13,0
Экстрасол	26,1	8,6	2,1	12,3
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	30,2	9,1	2,3	13,9
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	33,2	9,8	2,9	15,3
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	36,1	10,2	2,2	16,2
НСР ₀₅	3,6	1,2	0,3	1,5

Осуществление внесения азотных удобрений в 2021 году под предпосевную культивацию или при посеве льна масличного увеличивало количество аммонийного азота в почве математически достоверно на всех вариантах опыта практически пропорционально дозе, внесённых удобрений.

В фазу «ёлочка» наибольшее содержание аммонийного почвенного азота отмечено на вариантах с внесением азотных удобрений в дозе N₆₀.

Прибавка к содержанию на контроле составила 26,1-30,0 кг/га или 104,0-119,5%. На этих вариантах опыта также получена наибольшая обеспеченность почвы аммонийным азотом в среднем за вегетацию льна масличного (фаза «ёлочка» - полная спелость).

В течение вегетации льна масличного динамика изменений содержания аммонийного азота на вариантах опыта являлась аналогичной с изменениями на контрольном варианте.

В предпосевной период льна в 2022 году обеспеченность почвы аммонийным азотом в шестидесятисантиметровом слое было в 3,1 раза меньше, чем в 2021 г. и составила 10,3 кг/га. На контроле от момента сева до фазы «ёлочка» снизилось содержание аммонийного азота только на 1,0 кг/га. Но отмечено существенное отличие в динамике аммонийного азота по сравнению с предыдущим годом проведения полевых опытов. Так зафиксировано существенное уменьшение количество $N-NH_4$ уже к фазе цветения в 2022 году (таблица 3). Возможно, нехватка доступной почвенной влаги обеспечивала резкое снижение микробиологической активности почвы, в том числе и аммонификация. К фазе полной спелости содержание аммонийного азота на контрольном варианте было минимальным и практически не изменялось по сравнению с содержанием в фазу цветения растений льна. В среднем за вегетацию обеспеченность почвы аммонийным азотом на контрольном варианте составила 3,8 кг/га.

Как и в предыдущий год полевых опытов, максимальное увеличение количества аммонийного азота в почве после внесения азотных удобрений отмечено на вариантах с дозами 60 кг/га д.в. Повышение в содержании аммонийного азота в почве были существенно меньше, чем в 2021 году в абсолютных значениях по сравнению с контрольным вариантом лишь на 16,9-18,8 кг/га, но гораздо больше в относительном выражении – на 181,7-202,2%. На вариантах с использование агрохимикатов в течение вегетации, как и на контрольном варианте, резкое снижение содержания аммонийного

азота получено уже в фазу цветения и оставалось минимальным вплоть до уборки льна масличного.

Таблица 3 – Запасы аммонийного азота в 2022 году, кг/га (слой почвы 0-60 см)

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «ёлочка»	цветение	полная спелость	
контроль	9,3	1,1	1,0	3,8
применение под предпосевную культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	20,3	1,6	0,5	7,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	19,9	2,1	1,1	7,7
N ₄₅ P ₄₅	24,5	1,8	1,1	9,1
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	25,1	1,1	1,6	9,3
N ₆₀ P ₆₀	26,2	2,0	1,0	9,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	27,2	1,3	1,8	10,1
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	18,8	1,6	1,2	7,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	19,2	1,3	1,9	7,5
N ₄₅ P ₄₅	25,6	2,0	1,1	9,6
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	26,3	1,3	1,6	9,7
N ₆₀ P ₆₀	27,8	1,8	1,2	10,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	28,1	2,0	1,0	10,4
припосевное внесение				
N ₃₀ P ₃₀	23,1	1,9	1,0	8,7
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	22,8	2,1	1,1	8,7
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	10,5	2,0	1,0	4,5
Мизорин	11,2	1,5	0,5	4,4
Экстрасол	10,9	1,8	1,1	4,6
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	24,9	2,0	1,2	9,4
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	25,6	1,2	1,0	9,3
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	26,2	2,3	1,3	9,9
НСР ₀₅	1,8	0,3	0,2	1,0

В 2023 году, как и в предыдущий год полевых опытов, обеспеченность почвы N-NH₄ в шестидесятисантиметровом профиле почвы в допосевной период была низкой и достигала лишь 9,5 кг/га. Это на 0,8 кг/га меньше, чем

перед посевом льна в 2022 году. Несмотря на различные условия увлажнения в 2022 и 2023 гг. динамика аммонийного азота в почве была практически одинаковой (таблица 4).

Таблица 4 – Запасы аммонийного азота в 2023 году, кг/га (слой почвы 0-60 см)

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «ёлочка»	цветение	полная спелость	
контроль	5,6	1,0	1,1	2,6
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	16,2	1,8	0,5	6,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	17,0	2,0	1,0	6,7
N ₄₅ P ₄₅	21,0	2,1	0,9	8,0
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	20,3	1,6	1,1	7,7
N ₆₀ P ₆₀	25,1	1,9	1,0	9,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	24,3	2,0	1,6	9,3
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	18,6	1,6	1,2	7,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	17,8	1,1	1,3	6,7
N ₄₅ P ₄₅	22,5	1,0	1,5	8,3
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	23,1	1,5	1,4	8,7
N ₆₀ P ₆₀	22,5	1,9	1,9	8,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	23,6	1,5	2,0	9,0
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	24,5	2,0	2,1	9,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	23,8	1,2	1,8	8,9
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	6,9	2,0	1,3	3,4
Мизорин	7,1	1,6	1,5	3,4
Экстрасол	7,5	1,5	1,9	3,6
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	19,2	1,8	1,4	7,5
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	18,5	2,0	1,2	7,2
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	20,2	2,1	1,3	7,9
НСР ₀₅	2,2	0,4	0,2	0,8

Но обусловлены эти изменения, по-видимому, разными причинами. Так же, как и в предыдущий год, к фазе цветения льна, обеспеченность почвы аммонийным азотом существенно снизилась, и была в почве минимальной.

Но, по-видимому, в этот год полевых опытов из-за высокой обеспеченности почв продуктивной влагой произошло усиление нитрификационных процессов, что привело к быстрому окислению аммонийной формы азота до нитратной.

Как и в 2022 году после применения минеральных удобрений наибольшая обеспеченность почвы в слое 0-60 см получена при внесении их в максимальных дозах 60 кг/га д.в. В дальнейшем на вариантах опыта с внесением минеральных удобрений и биопрепаратов динамика аммонийного азота была аналогичной изменениям на контрольном варианте.

За 2021-2013 годы обеспеченность почвы $N-NH_4$ в шестидесятисантиметровом слое почвы на контроле составила 17,3 кг/га. К фазе «ёлочка» запас аммонийного азота снизился на 4,0 кг/га и составил 13,3 кг/га (таблица 5, рисунок 5). К фазе полная спелость в почве происходило равномерное уменьшение запаса $N-NH_4$ на контроле. В среднем за период вегетации льна (фаза «ёлочка» - полная спелость) содержание $N-NH_4$ составило 5,9 кг/га.

Внесение удобрений в дозах N_{30} , N_{45} и N_{60} кг/га способствовало равномерному увеличению аммонийного азота в почве. Максимальные увеличения зафиксированы при внесении азотных удобрений в наибольших дозах. Увеличение к контролю составило 20,9-22,0 кг/га или 157,1-165,4%. На этих же вариантах опыта получена максимальная обеспеченность почвы аммонийным азотом в среднем за вегетацию льна масличного.

Применение бактериальных препаратов способствовало существенному повышению содержания аммонийного азота в почве в фазы цветения и полной спелости по сравнению с содержанием на контрольном варианте.

Таблица 5 – Запасы аммонийного азота в среднем 2021-2023 году, кг/га (слой почвы 0-60 см)

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «ёлочка»	цветение	полная спелость	
контроль	13,3	3,3	1,1	5,9
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	24,7	4,6	1,1	10,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	25,3	5,1	1,4	10,6
N ₄₅ P ₄₅	30,0	4,5	1,3	11,9
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	29,5	4,3	1,6	11,8
N ₆₀ P ₆₀	34,2	5,1	1,3	13,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	34,9	5,1	1,7	13,9
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	24,3	4,5	1,2	10,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	24,6	4,6	1,7	10,3
N ₄₅ P ₄₅	31,1	4,5	1,4	12,3
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	32,5	4,7	1,6	12,9
N ₆₀ P ₆₀	35,1	5,4	1,7	14,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	35,3	4,9	1,8	14,0
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	29,5	4,7	1,7	12,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	29,0	4,7	1,9	11,9
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	13,9	5,4	1,5	6,9
Мизорин	14,6	4,9	1,3	6,9
Экстрасол	14,8	4,0	1,7	6,8
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	24,8	4,3	1,6	10,3
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	25,8	4,3	1,7	10,6
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	27,5	4,9	1,6	11,3
НСР ₀₅	1,8	0,4	0,1	1,5

При применении микробиологических удобрений и минеральных удобрений наибольшая обеспеченность почвы аммонийным азотом получена при использовании биопрепарата Экстрасол на фоне припосевного внесения минеральных удобрений в дозе N₃₀P₃₀. Но здесь содержание аммонийного азота меньше, чем на варианте с припосевным внесением минеральных удобрений в этой же дозе, но без бактериального препарата. Возможно, это

объясняется более интенсивным поглощением этой формы азота микроорганизмами штамма бактериального препарата за счет иммобилизации.

В течение вегетации льна масличного динамика изменений содержания аммонийного азота была аналогичной изменениям на контрольном варианте.

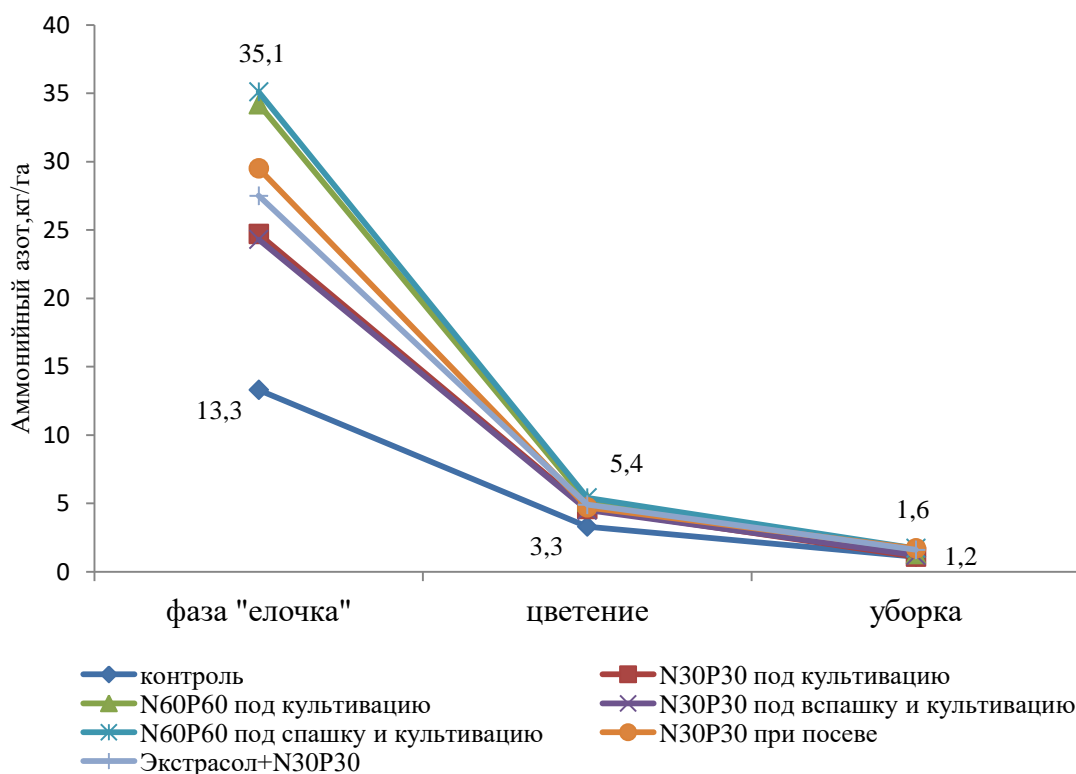


Рисунок 5 - Динамика аммонийного азота в слое почвы 0-40 см в среднем за 2021-2023 гг., кг/га

Запас $N-NO_3$ в шестидесятисантиметровом слое почвы наибольшим был в 2021 году и составил перед посевом льна на контрольном варианте 41,0 кг/га. От сева до полной спелости в почве под льном масличным происходило снижение количества нитратного азота, что, безусловно, связано с потреблением его растениями (таблица 6).

Применение до посева и при посеве агрохимикатов обеспечивало увеличение количество нитратного азота в почве. Высокую эффективность в этот год полевых показало припосевное внесение минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{30}$. Обработка семян льна масличного микробиологическими

удобрениями Мизорин и Флавобактерин до посева на фоне NP минеральных удобрений обеспечивало наибольшее содержание нитратного азота в фазу «ёлочка».

Таблица 6 – Запасы нитратного азота в 2021 году, кг/га (слой почвы 0-60 см)

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «ёлочка»	цветение	полная спелость	
контроль	36,1	20,8	14,0	23,6
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	46,9	34,7	20,9	34,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	46,6	35,0	19,4	33,7
N ₄₅ P ₄₅	47,8	45,5	24,2	39,2
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	48,4	43,2	23,4	38,3
N ₆₀ P ₆₀	52,4	54,9	28,4	45,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	52,0	51,1	29,6	44,2
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	47,8	41,0	23,3	37,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	44,4	37,1	23,7	35,1
N ₄₅ P ₄₅	49,3	40,6	27,0	39,0
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	45,1	44,0	29,4	39,5
N ₆₀ P ₆₀	50,3	50,8	31,4	44,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	52,3	49,9	28,7	43,6
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	50,2	41,0	20,3	37,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	50,1	39,7	18,1	36,0
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	38,8	20,9	13,4	24,4
Мизорин	35,8	23,6	16,8	25,4
Экстрасол	36,2	26,3	17,0	26,5
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	56,4	46,2	18,2	40,3
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	55,0	41,4	18,6	38,3
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	51,1	43,2	20,4	38,2
НСП ₀₅	3,6	2,5	1,8	2,1

Но в среднем за вегетацию льна масличного наибольшая обеспеченность N-NO₃ достигнута на вариантах с внесением азотных удобрений до посева и заделкой культивацией в дозе N₆₀. Динамика

нитратного азота на вариантах с применением биопрепаратов и минеральных удобрений в течение вегетации льна масличного практически соответствовала изменениям на контроле.

В 2022 году перед посевом льна масличного в слое почвы 0-60 см содержание в почве нитратного азота была в 2,2 раза меньше, чем в 2021 году и достигало 18,7 кг/га (таблица 7).

Таблица 7 – Запасы нитратного азота в 2022 году, кг/га (слой почвы 0-60 см)

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «ёлочка»	цветение	полная спелость	
контроль	13,9	4,5	2,0	6,8
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	29,1	8,6	3,6	13,8
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	27,9	7,7	3,4	13,0
N ₄₅ P ₄₅	31,7	9,7	3,3	14,9
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	33,2	9,8	3,2	15,4
N ₆₀ P ₆₀	40,1	9,8	3,7	17,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	43,0	10,0	3,2	18,7
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	29,8	8,2	3,4	13,8
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	30,0	7,6	2,1	13,2
N ₄₅ P ₄₅	33,6	7,5	3,7	14,9
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	31,8	8,9	2,4	14,4
N ₆₀ P ₆₀	34,5	8,5	2,7	15,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	38,0	6,9	3,3	16,1
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	28,1	8,3	3,0	13,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	27,5	9,2	4,7	13,8
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	14,7	3,6	3,5	7,3
Мизорин	15,1	2,8	4,6	7,5
Экстрасол	17,3	3,0	3,5	7,9
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	27,4	3,0	4,0	11,5
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	30,0	4,0	2,3	12,1
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	32,4	1,9	3,1	12,5
НСР ₀₅	2,1	0,5	0,3	0,8

В этот год изменения количества нитратного азота на вариантах опыта была сходной – до созревания культуры в почве отмечено снижение $N-NO_3$.

Максимальное содержание в почве нитратного азота при применении биопрепаратов было достигнуто при инокуляции семенного материала льна Экстрасолом. Но в среднем за период вегетацию (фаза «ёлочка» - полная спелость) наибольший запас $N-NO_3$ зафиксирован на вариантах с большими дозами азотных удобрений, внесённых весной под предпосевную культивацию.

Наименьшим содержание нитратного азота в почве перед посевом льна масличного было в 2023 году, которое в слое 0-60 см составило 8,5 кг/га. Но в этот году зафиксированы отличия в содержании $N-NO_3$ в почве на контрольном варианте по сравнению с двумя предыдущими годами. От посева до фазы «ёлочка» запас $N-NO_3$ повысился на 7,1 кг/га (таблица 8). Оптимальная влажность почвы в весенний период, несмотря на потребление почвенного азота растениями льна, обеспечивала интенсивное течение нитрификационных процессов в почве и пополнение запасов $N-NO_3$.

Подобная тенденция отмечена и в фазу цветение. На фоне интенсивного нарастания вегетативной массы льна масличного количество нитратного азота в почве увеличилось по сравнению с содержанием в фазу «ёлочка» на 2,0 кг/га в шестидесятисантиметровом слое почвы. Из-за дефицита осадков запасы почвенной влаги сократились и, следовательно, скорость течения нитрификационных процессов. От фазы цветение льна до полной спелости отмечено снижение $N-NO_3$ на 8,1 кг/га в шестидесятисантиметровом почвенном слое.

При внесении удобрений в дозах N_{30} и N_{45} отмечена сходная тенденция в изменении нитратного режима почвы по сравнению с контрольным вариантом. До фазы цветение обеспеченность почвы нитратным азотом либо увеличивалась по сравнению с содержанием в фазу «ёлочка», либо оставалось на одном уровне.

Таблица 8 – Запасы нитратного азота в 2023 году, кг/га (слой почвы 0-60 см)

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «ёлочка»	цветение	полная спелость	
контроль	15,6	17,6	9,5	14,2
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	38,9	40,5	10,7	30,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	39,2	43,2	13,5	32,0
N ₄₅ P ₄₅	41,1	42,2	14,8	32,7
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	43,1	43,5	11,2	32,6
N ₆₀ P ₆₀	46,1	40,3	14,4	33,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	45,9	42,1	14,6	34,2
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	37,6	44,6	11,0	31,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	40,0	43,1	12,0	31,7
N ₄₅ P ₄₅	36,6	44,2	12,6	31,1
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	37,1	49,5	13,8	33,5
N ₆₀ P ₆₀	51,9	44,7	13,0	36,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	51,6	40,8	11,8	34,7
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	37,6	43,4	12,5	31,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	39,8	43,0	12,3	31,7
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	16,9	21,0	10,0	16,0
Мизорин	17,1	19,7	9,0	15,3
Экстрасол	14,3	20,5	9,4	14,7
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	27,5	22,2	10,6	20,1
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	28,5	20,0	10,3	19,6
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	26,9	20,9	11,6	19,8
НСР ₀₅	2,7	2,5	1,0	1,6

При применении азотных удобрений в дозе N₆₀ в почве происходило снижение нитратного азота от фазы «ёлочка» до проведения уборки.

В среднем за 2021-2023 гг. в предпосевной период на контрольном варианте содержание нитратного азота составило 22,7 кг/га. От посева до полного созревания содержание нитратного азота в почве равномерно снижалось

(таблица 9, рисунок б). В среднем за вегетацию (фаза «ёлочка» - полная спелость) обеспеченность почвы N-NO₃ составила 14,9 кг/га.

Таблица 9 – Запасы нитратного азота в среднем за 2021-2023 гг., кг/га (слой почвы 0-60 см)

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «ёлочка»	цветение	полная спелость	
контроль	21,9	14,3	8,5	14,9
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	38,3	27,9	11,7	26,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	37,9	28,6	12,1	26,2
N ₄₅ P ₄₅	40,2	32,5	14,1	28,9
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	41,6	32,2	12,6	28,8
N ₆₀ P ₆₀	46,2	35,0	15,5	32,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	47,0	34,4	15,8	32,4
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	38,4	31,3	12,6	27,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	38,1	29,3	12,6	26,7
N ₄₅ P ₄₅	39,8	30,8	14,4	28,3
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	38,0	34,1	15,2	29,1
N ₆₀ P ₆₀	45,6	34,7	15,7	32,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	47,3	32,5	14,6	31,5
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	38,6	30,9	11,9	27,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	39,1	30,6	11,7	27,2
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	23,5	20,6	10,4	18,2
Мизорин	22,7	20,2	11,4	18,1
Экстрасол	22,6	20,6	11,7	18,3
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	37,1	28,1	12,6	25,9
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	37,8	26,1	12,1	25,3
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	36,8	26,9	13,3	25,7
НСР ₀₅	3,1	2,2	1,3	2,0

В фазу «ёлочка» максимальная обеспеченность почвы N-NO₃ 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, которое превосходит контроль на 16,6-17,3 кг/га или на 111,4-116,1%.

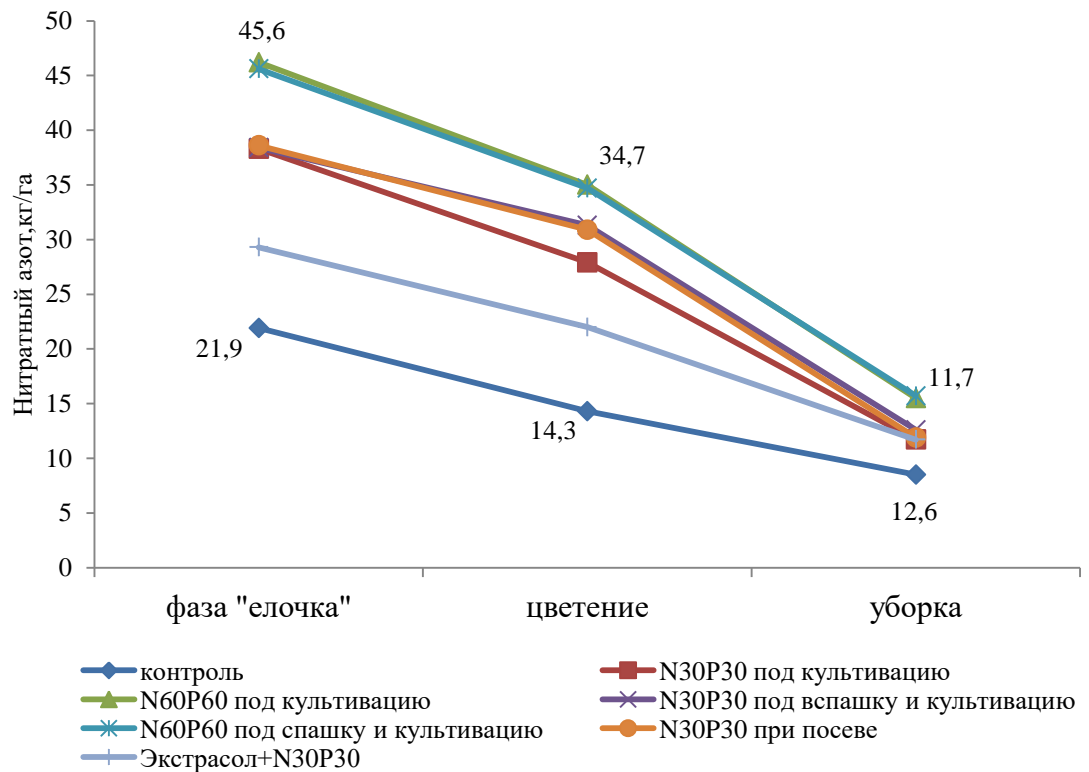


Рисунок 6 – Динамика нитратного азота в слое почвы 0-60 см в среднем за 2021-2023 гг., кг/га

В предпосевной период в 2021 году в шестидесятисантиметровом слое почвы содержание минерального азота 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. За период вегетации (фаза «ёлочка» - полная спелость) максимальное содержание в почве $N_{\text{мин}}$ на контрольном варианте зафиксирована в 2021 году 35,0 кг/га, в 2023 г. – 16,8 и наименьшая в 2022 г. – лишь 10,6 кг/га (таблица 10, таблица 11, таблица 12).

В годы испытаний при применении азотных удобрений перед посевом и при посеве льна зафиксировано статистически достоверное повышение $N_{\text{мин}}$ в почве по сравнению с контрольным вариантом, которое было максимальным на вариантах с дозами N_{60} .

Таблица 10 – Запасы минерального азота в 2021 году, кг/га (слой почвы 0-60 см)

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «ёлочка»	цветение	полная спелость	
контроль	61,2	28,6	15,2	35,0
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	84,4	45,2	23,3	51,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	85,6	46,3	21,5	51,1
N ₄₅ P ₄₅	92,3	55,1	26,1	57,8
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	91,5	53,5	25,4	56,8
N ₆₀ P ₆₀	103,6	66,4	30,2	66,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	105,2	63,2	31,2	66,5
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	83,4	51,2	24,4	53,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	81,3	48,6	25,6	51,8
N ₄₅ P ₄₅	94,5	51,2	28,5	58,1
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	93,2	55,3	31,2	59,9
N ₆₀ P ₆₀	105,4	63,2	33,5	67,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	106,5	61,2	31,2	66,3
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	91,2	51,2	22,4	54,9
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	90,6	50,6	21,0	54,1
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	63,2	33,2	15,5	37,3
Мизорин	61,4	35,1	18,6	38,4
Экстрасол	62,3	34,9	19,1	38,8
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	86,6	55,3	20,5	54,1
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	88,2	51,2	21,5	53,6
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	87,2	53,4	22,6	54,4
НСР ₀₅	3,1	2,5	1,8	3,0

Таблица 11 – Запасы минерального азота в 2022 году, кг/га (слой почвы 0-60 см)

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «ёлочка»	цветение	полная спелость	
контроль	23,2	5,6	3,0	10,6
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	49,4	10,2	4,1	21,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	47,8	9,8	4,5	20,7
N ₄₅ P ₄₅	56,2	11,5	4,4	24,0
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	58,3	10,9	4,8	24,7
N ₆₀ P ₆₀	66,3	11,8	4,7	27,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	70,2	11,3	5,0	28,8
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	48,6	9,8	4,6	21,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	49,2	8,9	4,0	20,7
N ₄₅ P ₄₅	59,2	9,5	4,8	24,5
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	58,1	10,2	4,0	24,1
N ₆₀ P ₆₀	62,3	10,3	3,9	25,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	66,1	8,9	4,3	26,4
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	51,2	10,2	4,0	21,8
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	50,3	11,3	5,8	22,5
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	25,2	5,6	4,5	11,8
Мизорин	26,3	4,3	5,1	11,9
Экстрасол	28,2	4,8	4,6	12,5
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	52,3	5,0	5,2	20,8
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	55,6	5,2	3,3	21,4
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	58,6	4,2	4,4	22,4
НСР ₀₅	2,8	1,0	0,8	1,2

Таблица 12 – Запасы минерального азота в 2023 году, кг/га (слой почвы 0-60 см)

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «ёлочка»	цветение	полная спелость	
контроль	21,2	18,6	10,6	16,8
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	55,1	42,3	11,2	36,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	56,2	45,2	14,5	38,6
N ₄₅ P ₄₅	62,1	44,3	15,7	40,7
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	63,4	45,1	12,3	40,3
N ₆₀ P ₆₀	71,2	42,2	15,4	42,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	70,2	44,1	16,2	43,5
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	56,2	46,2	12,2	38,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	57,8	44,2	13,3	38,4
N ₄₅ P ₄₅	59,1	45,2	14,1	39,5
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	60,2	51,0	15,2	42,1
N ₆₀ P ₆₀	74,4	46,6	14,9	45,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	75,2	42,3	13,8	43,8
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	62,1	45,4	14,6	40,7
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	63,6	44,2	14,1	40,6
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	23,8	23,0	11,3	19,6
Мизорин	24,2	21,3	10,5	19,1
Экстрасол	21,8	22,0	11,3	19,2
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	46,7	24,0	12,0	20,7
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	47	22,0	11,5	19,7
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	47,1	23,0	12,9	20,1
НСР ₀₅	4,1	1,6	1,1	1,3

Внесение N₃₀ до посева с заделкой культивацией в среднем за 3 года обеспечивало увеличение запас N_{мин} в шестидесятисантиметровом профиле почвы 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% (таблица 13). При внесении удобрений в дозе 45 д.в./га до посева прибавка составляла к

контрольному варианту 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%.

Таблица 13 – Запасы минерального азота в слое почвы 0-60 см в среднем за 2021-2023 гг., кг/га

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «ёлочка»	цветение	полная спелость	
контроль	35,2	17,6	9,6	20,8
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	63,0	32,6	12,9	36,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	63,2	33,8	13,5	36,8
N ₄₅ P ₄₅	70,2	37,0	15,4	40,8
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	71,1	36,5	14,2	40,6
N ₆₀ P ₆₀	80,4	40,1	16,8	45,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	81,9	39,5	17,5	46,3
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	62,7	35,7	13,7	37,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	62,8	33,9	14,3	37,0
N ₄₅ P ₄₅	70,9	35,3	15,8	40,7
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	70,5	38,8	16,8	42,0
N ₆₀ P ₆₀	80,7	40,0	17,4	46,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	82,6	37,5	16,4	45,5
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	68,2	35,6	13,7	39,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	68,2	35,4	13,6	39,1
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	37,4	20,6	10,4	22,8
Мизорин	37,3	20,2	11,4	23,0
Экстрасол	37,4	20,6	11,7	23,2
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	61,9	28,1	12,6	34,2
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	63,6	26,1	12,1	33,9
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	64,3	26,9	13,3	34,8
НСР ₀₅	5,1	1,2	0,6	1,5

Максимальное содержание в почве N_{мин} в среднем за период вегетации (фаза «ёлочка» - полная спелость) зафиксирована при применении азотных

удобрений в дозе N_{60} в допосевной период. Повышение к контролю достигало 24,7-25,5 кг/га или 118,8-122,6%.

Максимальной эффект в увеличении минерального азота получен при предпосевной обработке семенного материала микробиологическим удобрением Экстрасол.

За период вегетации льна (фаза «ёлочка» - полная спелость) на вариантах в опыте зафиксировано равномерное уменьшение почвенного азота до фазы полной спелости (рисунок 7).

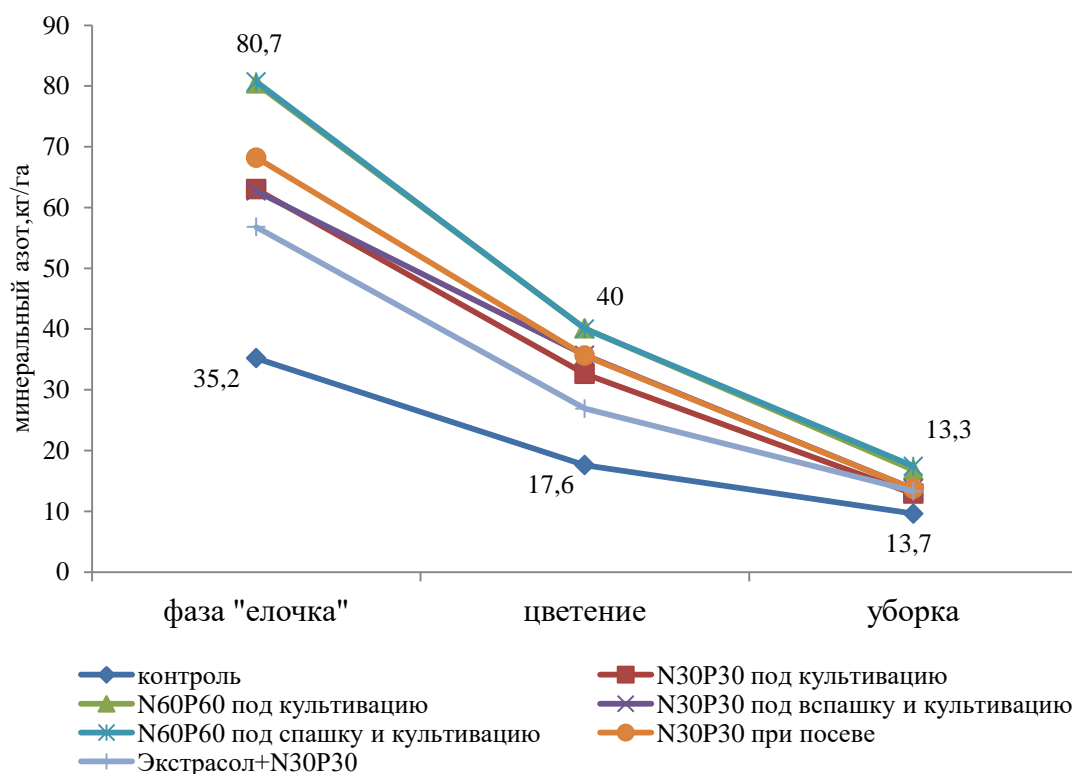


Рисунок 7 - Динамика минерального азота в слое почвы 0-40 см в среднем за 2021-2023 гг., кг/га

Перед закладкой опытов со льном масличным в 2021 году обеспеченность почвы в сорокасантиметровом слое подвижным фосфором составила по Мачигину 11,2 мг/кг. Данное содержание подвижного фосфора характеризуется как низкая (10-15 мг/кг почвы).

На контроле (без агрохимикатов) от посева льна масличного до фазы полная спелость в почве проходило равномерное уменьшение P_2O_5 . За пери-

од вегетации (фаза «ёлочка» - полное созревание) содержание подвижного фосфора в почве на этом варианте достигало 7,6 мг/кг (таблица 14).

Таблица 14 – Динамика содержания подвижного фосфора в слое почвы 0-40 см в 2021 году, мг/кг

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «ёлочка»	цветение	полная спелость	
контроль	10,5	7,8	4,5	7,6
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	12,2	8,3	5,1	8,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	12,3	8,1	5,5	8,6
N ₄₅ P ₄₅	13,3	10,2	8,4	10,6
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	13,8	10,5	8,1	10,8
N ₆₀ P ₆₀	16,1	14,4	12,1	14,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	16,6	15,1	12,5	14,7
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	11,1	6,5	4,6	7,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	11,3	6,9	5,0	7,7
N ₄₅ P ₄₅	12,6	9,2	6,2	9,3
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	12,2	9,5	6,0	9,2
N ₆₀ P ₆₀	14,3	12,5	6,8	11,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	14,5	12,3	7,0	11,3
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	13,3	12,0	6,8	10,7
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	13,5	12,3	7,1	11,0
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	10,0	6,5	5,1	7,2
Мизорин	10,5	7,1	6,0	7,9
Экстрасол	10,8	7,4	5,8	8,0
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	12,8	11,9	7,0	10,6
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	13,0	12,2	5,5	10,2
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	12,6	12,0	6,1	10,2
НСР ₀₅	1,1	0,9	0,7	0,8

В 2021 году существенное влияние на обеспеченность почвы подвижным фосфором оказали не только доза, но также способ и срок применения минеральных удобрений. На вариантах с предпосевным

внесением фосфорных удобрений с заделкой культивацией в дозах P_{30} , P_{45} и P_{60} содержание в почве P_2O_5 в фазу «ёлочка» возростала к контролю на 1,7-6,1 мг/кг. Максимум обеспеченности достигнут на варианте с максимальной дозой.

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 под предпосевную 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.

Объяснения подобным изменениям в почве содержания P_2O_5 из-за способа и срока применения удобрений приводит В.В. Кидин (2017), согласно которым при дефиците доступного фосфора (низкая обеспеченность почвы) при перемешивании удобрений плугом происходит увеличение площади соприкосновения гранул удобрения с почвой и ускорением процессов химической сорбции за осенне-зимне-весенний период. При низкой обеспеченности почвы P_2O_5 необходимо фосфорные удобрения применять локально, что и подтвердили наши опыты.

В течение вегетации льна масличного от фазы «ёлочка» до полной спелости в почве на вариантах опыта отмечено уменьшение количества подвижного фосфора. Но в среднем за период вегетации (фаза «ёлочка» - полное созревание) наибольшая обеспеченность почвы под льном масличным получена от применения фосфорных удобрений под лён масличный в дозе 60 кг/га д.в. с заделкой культиватором до посева.

Перед посевом льна масличного высокое содержание P_2O_5 в почве зафиксирована в 2022 году. Оно составило 22,1 мг/кг почвы и соответствует по характеристике Б.П. Мачигина средней степени обеспеченности (15-30 мг/кг).

Как и в предыдущий год опытов, на контроле отмечено уменьшение P_2O_5 в почве под льном масличным. В среднем за период вегетации (фаза «ёлочка» - полная спелость) количество P_2O_5 в почве было в 2,5 раза выше, чем в 2021 году (таблица 15).

Таблица 15 – Динамика содержания подвижного фосфора в слое почвы 0-40 см в 2022 году, мг/кг

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «ёлочка»	цветение	полная спелость	
контроль	20,1	18,8	17,1	18,7
внесение весной под культивацию				
$N_{30}P_{30}$	22,3	19,5	16,6	19,5
$N_{30}P_{30}K_{30}$	22,5	18,4	17,0	19,3
$N_{45}P_{45}$	24,2	21,0	19,9	21,7
$N_{45}P_{45}K_{45}$	25,0	20,4	18,9	21,4
$N_{60}P_{60}$	26,6	22,1	20,4	23,0
$N_{60}P_{60}K_{60}$	28,1	23,3	21,7	24,4
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
$N_{30}P_{30}$	21,9	19,0	18,1	19,7
$N_{30}P_{30}K_{30}$	22,6	19,5	18,9	20,3
$N_{45}P_{45}$	24,5	21,0	19,4	21,6
$N_{45}P_{45}K_{45}$	25,1	23,2	20,1	22,8
$N_{60}P_{60}$	26,6	24,4	21,0	24,0
$N_{60}P_{60}K_{60}$	27,0	23,6	22,0	24,2
применение при посеве				
$N_{30}P_{30}$	22,5	20,0	18,6	20,4
$N_{30}P_{30}K_{30}$	21,8	19,9	19,0	20,2
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	19,9	17,8	17,0	18,2
Мизорин	19,3	18,0	16,4	17,9
Экстрасол	20,0	17,4	16,8	18,1
Флавобактерин + $N_{30}P_{30}$	21,6	19,4	17,4	19,5
Мизорин + $N_{30}P_{30}$	22,0	19,0	17,1	19,4
Экстрасол + $N_{30}P_{30}$	21,4	19,3	17,0	19,2
НСР ₀₅	0,9	1,0	0,8	1,2

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

Обеспеченность почвы подвижным фосфором в этот год равномерно увеличивалась в зависимости от дозы удобрений и достигало максимума при применении наибольших доз. Наибольшее содержание подвижного фосфора в почве зафиксировано от НРК по 60 кг/га с заделкой под культивацию. Повышение по сравнению с контрольным вариантом составляло 8,0 мг/кг почвы или 39,8%, а по сравнению с вариантом, на котором вносились только азотно-фосфорные удобрения – 1,6 мг/кг или 5,6%. Вероятно, это можно объяснить тем, что при внесении хлористого калия происходит изменение рН почвенного раствора в сторону подкисления, что способствует снижению химической сорбции внесенных удобрений и высвобождению дополнительного почвенного фосфора за счёт ретроградации.

В дальнейшем в течение вегетации на всех вариантах агрохимикатов изменения подвижного фосфора была аналогичной изменениям на контрольном варианте.

В предпосевной период 2023 года содержание P_2O_5 в почве было составило 7,1 мг/кг почвы. Данное количество P_2O_5 почвы по классификации Б.П. Мачигина характеризуется как очень низкая обеспеченность (0-10 мг/кг).

За период выращивания на контроле отмечено равномерное уменьшение количества P_2O_5 , которое обусловлено в первую очередь потреблением растениями льна масленичного. В среднем за вегетацию на этом варианте обеспеченность почвы подвижным фосфором составила 4,6 мг/кг почвы (таблица 16).

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.

Таблица 16 – Динамика содержания подвижного фосфора в слое почвы 0-40 см в 2023 году, мг/кг

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «елочка»	цветение	полная спелость	
контроль	6,5	4,3	3,1	4,6
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	8,4	5,1	3,4	5,6
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	8,9	5,6	4,0	6,2
N ₄₅ P ₄₅	10,4	6,8	4,2	7,1
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	11,0	7,1	4,5	7,5
N ₆₀ P ₆₀	12,2	10,3	6,9	9,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	12,8	11,2	7,1	10,4
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	7,1	4,6	4,4	5,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	7,4	5,0	4,8	5,7
N ₄₅ P ₄₅	9,5	6,2	5,1	6,9
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	9,8	6,3	5,5	7,2
N ₆₀ P ₆₀	11,3	7,1	6,0	8,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	11,2	7,4	6,3	8,3
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	11,3	10,2	6,8	9,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	11,2	9,8	7,0	9,3
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	6,9	5,0	3,3	5,1
Мизорин	6,5	4,5	3,2	4,7
Экстрасол	6,9	5,0	3,3	5,1
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	10,9	9,8	7,1	9,3
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	11,1	10,0	6,9	9,3
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	12,0	10,1	7,1	9,7
НСР ₀₅	0,8	0,6	0,5	1,0

Внесение фосфорных удобрений в дозах P₄₅ и P₆₀ весной под предпосевную культивацию способствовало не только увеличению подвижного фосфора в почве, но и переходу в следующую градацию

обеспеченности: из очень низкой (0-10 мг/кг) в низкую (10-15 мг/кг). Такие же тенденции достигнуты при применении удобрений в дозе P_{30} припосевным способом, а также в дозе P_{60} осенью под вспашку.

Наибольшая обеспеченность почвы в среднем за период вегетации (фаза «ёлочка» - полная спелость) в этот год полевых опытов достигнута при использовании наибольшей дозы фосфорных удобрений с заделкой предпосевной культивацией. Повышение по сравнению с контрольным вариантом достигало 5,2-5,8 мг/кг почвы или 106,5-126,1%.

В среднем за 2021-2023 гг. в предпосевной период льна в сорокасантиметровом слое почвы количество P_2O_5 достигало 13,5 мг/кг, что характеризуется по градации Мачигина, как низкая обеспеченность (10-15 мг/кг). За вегетационный период на контроле (без агрохимикатов) отмечено уменьшение обеспеченности почвы P_2O_5 до проведения уборки (таблица 17). В среднем за период вегетации (фаза «ёлочка» - полная спелость) содержание в почве P_2O_5 на варианте без применения агрохимикатов составило 10,3 мг/кг почвы.

В среднем за 3 года математически достоверное увеличение содержания подвижного фосфора в зависимости от способа и срока применения минеральных удобрений в фазу «ёлочка» получено лишь при внесении удобрений до посева с заделкой культиватором в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$. Содержание в почве P_2O_5 было больше, чем на варианте с осенним применением фосфорно-калийных удобрений в этой же дозе на 1,6 мг/кг почвы или на 9,1%.

При применении удобрений локальным способом в дозах 30 кг/га д.в. каждого элемента существенное увеличение подвижного фосфора в фазу «ёлочка» получено не только по сравнению с контрольным вариантом, но и с вариантами, на которых удобрения в этих же дозах вносились вразброс с последующей заделкой плугом или культиватором.

Таблица 17 – Динамика содержания подвижного фосфора в слое почвы 0-40 см в среднем за 2021-2023 гг., мг/кг

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «елочки»	цветение	полная спелость	
контроль	12,4	10,3	8,2	10,3
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	14,3	11,0	8,4	11,2
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	14,6	10,7	8,8	11,4
N ₄₅ P ₄₅	16,0	12,7	10,8	13,1
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	16,6	12,7	10,5	13,2
N ₆₀ P ₆₀	18,3	15,6	13,1	15,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	19,2	16,5	13,8	16,5
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	13,4	10,0	9,0	10,8
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	13,8	10,5	9,6	11,2
N ₄₅ P ₄₅	15,5	12,1	10,2	12,6
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	15,7	13,0	10,5	13,1
N ₆₀ P ₆₀	17,4	14,7	11,3	14,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	17,6	14,4	11,8	14,6
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	15,7	14,1	10,7	13,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	15,5	14,0	11,0	13,5
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	12,3	9,8	8,5	10,2
Мизорин	12,1	9,9	8,5	10,2
Экстрасол	12,6	9,9	8,6	10,4
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	15,1	13,7	10,5	13,1
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	15,4	13,7	9,8	13,0
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	15,3	13,8	10,1	13,0
НСР ₀₅	1,0	0,7	0,9	1,2

Прибавка по сравнению с заделкой плугом осенью составила 1,7-2,3, под культивацию - 0,9-1,4 мг/кг почвы. В среднем за период вегетации (фаза «ёлочка» - полная спелость) максимальное количество P₂O₅ достигнуто на варианте с применением удобрений в дозе 60 кг/га д.в. каждого элемента. Повышение по сравнению с контрольным вариантом составляло 5,4-6,2 мг/кг почвы или 52,4-60,2%.

В течение вегетации льна масличного на вариантах опыта зафиксировано уменьшение содержания P_2O_5 (рисунок 7).

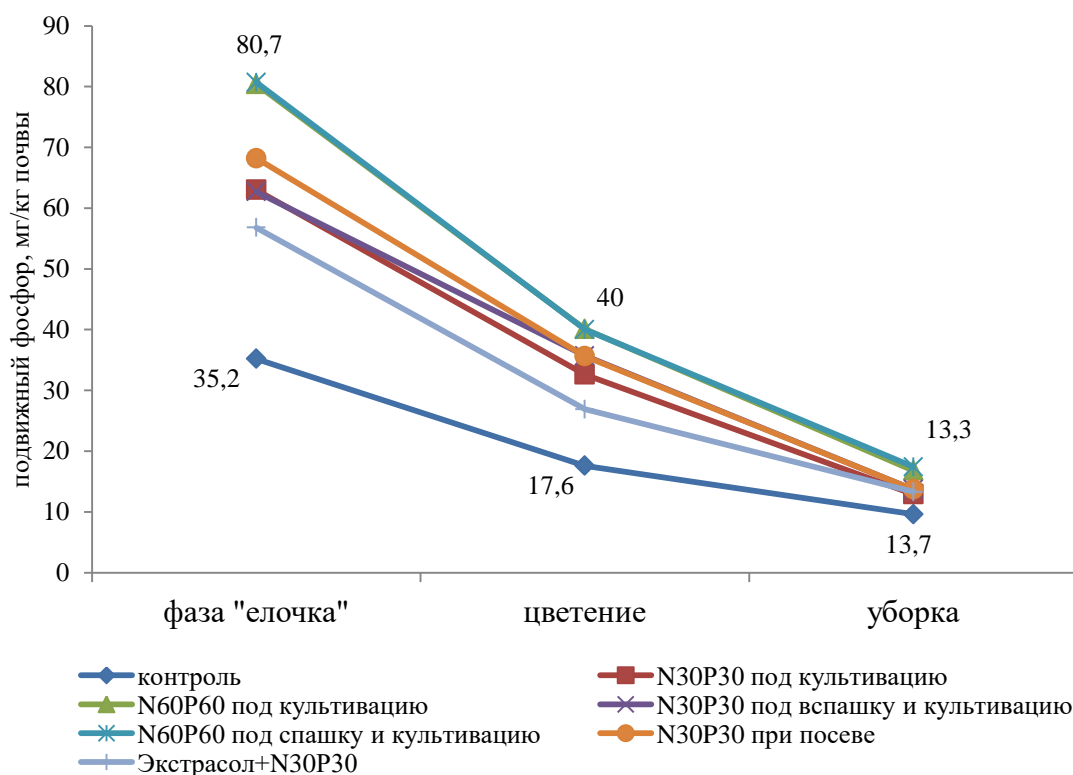


Рисунок 8 - Динамика подвижного фосфора в слое почвы 0-40 см в среднем за 2021-2023 гг., мг/кг почвы

В предпосевной период количество обменного калия в сорокасантиметровом профиле почвы в 2021 году составило 567 мг/кг, в 2022 г. – 592 и наименьшим оно было в 2023 году – 477 мг/кг почвы. Данное количество обменного калия в почве относится по классификации Б.П. Мачигина к высокой степени обеспеченности (400-600 мг/кг почвы).

В среднем за 2021-2023 гг. в предпосевной период содержание обменного калия составило 545 мг/кг почвы. В разные годы проведения опытов динамика обменного калия в почве под льном масличным имела сходный характер (таблица 18).

Таблица 18 – Динамика содержания обменного калия в слое почвы 0-40 см в среднем за 2021-2023 гг., мг/кг

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «елочка»	цветение	полная спелость	
контроль	533	506	490	510
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	533	504	484	507
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	544	512	488	514
N ₄₅ P ₄₅	533	517	494	515
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	544	516	493	518
N ₆₀ P ₆₀	531	507	486	508
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	556	530	498	528
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	530	504	480	505
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	536	509	489	512
N ₄₅ P ₄₅	538	514	499	517
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	543	531	496	523
N ₆₀ P ₆₀	532	506	481	506
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	546	513	485	515
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	527	496	485	503
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	529	498	476	501
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	528	504	490	508
Мизорин	531	501	496	509
Экстрасол	533	503	489	509
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	538	510	491	513
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	537	514	489	513
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	531	514	504	516
НСР ₀₅	22	18	16	14

Так до момента проведения уборки льна отмечено уменьшение количества K₂O в почве (приложение 8, приложение 9, приложение 10).

Изменения содержания K₂O на всех вариантах с минеральными удобрениями была практически одинаковой независимо от их доз, способов и сроков внесения (Van Dist, A. 1987; A. Schneider, 1997). Математически достоверное увеличение содержания K₂O в сорокасантиметровом слое почвы

в фазу «ёлочка» и цветение получено лишь при внесении наибольшей дозы калийных удобрений K_{60} при её внесении до посева с заделкой культиватором (рисунок 8).

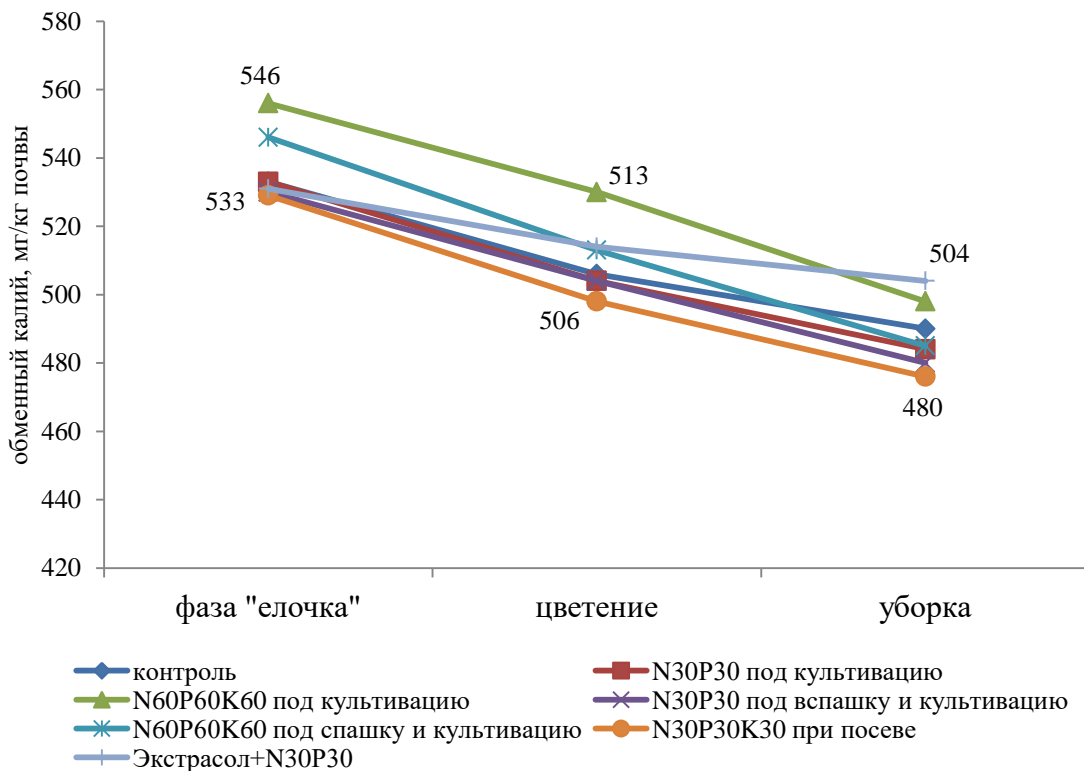


Рисунок 8 - Динамика обменного калия в слое почвы 0-40 см в среднем за 2021-2023 гг., мг/кг почвы

Повышение по сравнению с контрольным вариантом в фазы «ёлочка» и цветение достигало 23-24 мг/кг почвы или 4,3-4,7%. В среднем за период вегетации льна масличного (фаза «ёлочка» - полное созревание) на данном варианте достигнута максимальная обеспеченность почвы K_2O . Повышение по сравнению с контрольным вариантом достигало 18 мг/кг почвы или 3,5%.

4 БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ ЛЬНА И СОДЕРЖАНИЕ В НИХ ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

4.1 Биометрические показатели растений льна масличного

В годы проведения полевых опытов, погодные условия, содержание в почве продуктивной влагой, а так же основными элементами питания в течение вегетации оказали наибольшее влияние на формирование биометрических показателей растений льна.

В фазу «ёлочка» на контрольном варианте в 2021 году высота 1 растения составила 19,3 см, а сырая масса - 1,7 г (таблица 19).

В эту фазу на всех вариантах опыта в 2021 году получено статистически достоверное увеличение биометрических показателей растений льна масличного, за исключением вариантов, на которых применялись биопрепараты без фона минеральных удобрений. Наибольшие показатели в увеличении высоты и массы 1 сырого растения льна зафиксированы при применении удобрений разбросным способом в дозе 60 кг/га д.в. до посева. Применение полного минерального удобрения математически достоверно повышало биометрические показатели растений льна в эту фазу по сравнению с аналогичными вариантами, но только с азотно-фосфорными удобрениями. Использование удобрений $P_{60}K_{60}$ под заделку плугом и N_{60} весной под предпосевную культивацию увеличивало высоту льна к данным контроля на 10,5 см или на 54,4%, а массу - на 1,6 г или на 94,1%.

При достижении фазы цветения высота 1 растения льна в 2021 году на контроле составила 72,2 см, а масса – 5,4 г. В эту фазу увеличение биометрических показателей растений достигнуто на всех вариантах опыта, а также зафиксированы все тенденции во влиянии агрохимикатов на эти показатели, отмеченные в предыдущую фазу. Максимальные показатели в увеличении высоты и массы растений зафиксированы при внесении удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$, но при их внесении весной до посева с заделкой культивацией.

Увеличение по сравнению с контролем высоты 1 растения составляло 16,4 см или 22,7%, а массы – 3,7 г или 68,5%.

Таблица 19 – Биометрические показатели растений льна в 2021 году

Вариант	фаза «ёлочка»		фаза цветение	
	высота растения, см	масса 1 сырого растения, г	высота растения, см	масса 1 сырого растения, г
контроль	19,3	1,7	72,2	5,4
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	24,2	2,1	74,7	7,3
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	25,3	2,3	75,2	7,9
N ₄₅ P ₄₅	26,6	2,2	79,5	8,2
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	27,9	2,5	82,7	8,5
N ₆₀ P ₆₀	28,3	2,7	84,3	8,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	29,5	3,0	88,6	9,1
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	24,0	2,1	74,5	7,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	25,4	2,2	76,8	7,6
N ₄₅ P ₄₅	26,6	2,4	79,3	8,1
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	28,0	2,5	81,8	8,4
N ₆₀ P ₆₀	28,2	2,9	85,4	8,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	29,8	3,3	88,5	9,0
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	25,5	2,2	75,2	7,5
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	27,0	2,5	76,6	7,3
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	19,0	1,8	75,4	6,6
Мизорин	19,0	1,8	75,2	6,8
Экстрасол	19,5	1,9	75,8	6,9
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	25,6	2,3	77,8	7,3
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	26,0	2,4	77,7	7,2
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	26,1	2,2	76,6	7,4
НСР ₀₅	1,1	0,2	2,3	0,3

Несмотря на более высокую обеспеченность подвижным фосфором в 2022 году (22,1 мг/кг почвы) в сравнении с 2021 г. (11,2 мг/кг) биометрические показатели растений льна в фазу «ёлочка» были существенно меньше,

чем в предыдущий год. Вероятно, данные показатели обеспечило низкое содержание минерального азота по сравнению с предыдущим годом. Высота растений на контрольном варианте составила 15,0 см, а масса – 1,5 г (таблица 20).

Таблица 20 – Биометрические показатели растений льна в 2022 году

Вариант	фаза «ёлочка»		фаза цветение	
	высота растения, см	масса 1 сырого растения, г	высота растения, см	масса 1 сырого растения, г
контроль	15,0	1,5	50,2	4,7
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	16,9	1,7	55,5	5,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	17,5	1,8	57,4	5,5
N ₄₅ P ₄₅	17,7	1,9	61,3	6,2
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	18,6	2,0	65,4	6,4
N ₆₀ P ₆₀	19,6	2,7	68,7	6,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	20,1	2,8	71,4	6,8
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	16,1	1,9	53,3	5,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	17,3	2,0	58,7	5,3
N ₄₅ P ₄₅	17,6	2,0	62,4	6,4
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	18,1	2,1	66,5	6,5
N ₆₀ P ₆₀	19,3	2,6	69,4	6,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	19,9	2,7	72,4	7,0
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	16,5	1,6	52,3	4,9
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	17,1	1,7	57,5	5,2
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	15,1	1,7	54,3	4,8
Мизорин	15,0	1,8	53,5	5,1
Экстрасол	15,2	1,8	54,8	5,1
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	17,0	2,1	53,4	5,0
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	18,0	2,0	55,6	5,2
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	18,5	2,2	54,5	5,3
НСР ₀₅	0,7	0,2	2,8	0,2

Как и в предыдущий год проведения полевых опытов, в эту фазу максимальные показатели биометрии льна получены при применении максимальных доз удобрений. Но в эту фазу вегетации под влиянием полного минерального удобрения получены лишь тенденции в повышении биометрических показателей растений льна по отношению с NP удобрениями в таких же дозах.

Из-за недостатка почвенной влаги в фазу цветения льна масличного высота и масса 1 сырого растения на контроле была на 22,0 см и на 0,7 г меньше, чем в эту же фазу в 2021 г. Они составили на контрольном варианте 50,2 см и 4,7 г соответственно.

В эту фазу вегетации получены статистически достоверные прибавки в увеличении биометрических показателей на всех вариантах опыта. Под действием калийных удобрений сформированы математически достоверное увеличение высоты и массы 1 сырого растения по сравнению с такими же вариантами, но только с азотно-фосфорными удобрениями.

Как и в предыдущий год, наибольшие показатели биометрии растений льна достигнуты при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$, но при внесении РК осенью под плуг. По сравнению с контрольным вариантом увеличение высоты 1 сырого растения составило 22,2 см или 44,2%, а массы – 2,3 г или 48,9%.

Наименьшие биометрические показатели растений льна в фазу «ёлочка» сформированы на контрольном варианте в 2023 году, которые составили 13,5 см и 1,3 г (таблица 21). По видимому, это обусловлено не только низким содержанием в почве $N_{\text{мин}}$ (18 кг/га) и P_2O_5 (7,1 мг/кг почвы), но и самым низким уровнем содержания продуктивной влаги в предпосевной период в метровом слое почвы 160,3 мм по сравнению с 2022 г. (183,4 мм) и 2021 г. (203,4 мм).

В целом в действие агрохимикатов в фазу «ёлочка» и цветение льна масличного зафиксированы те же зависимости, что и в 2021 году. Отмечено статистически достоверное влияние NPK на показатели биометрии растений льна по сравнению с такими же дозами азотно-фосфорных удобрений.

Таблица 21 – Биометрические показатели растений льна в 2023 году

Вариант	фаза «ёлочка»		фаза «цветение»	
	высота растения, см	масса 1 сырого растения, г	высота растения, см	масса 1 сырого растения, г
контроль	13,5	1,3	61,0	5,3
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	16,6	1,5	65,4	5,8
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	17,8	1,7	67,8	6,1
N ₄₅ P ₄₅	18,2	1,7	69,3	6,4
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	19,4	1,9	72,8	6,8
N ₆₀ P ₆₀	20,5	1,8	73,4	6,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	21,7	2,2	76,5	7,0
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	17,1	1,5	66,6	5,9
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	18,1	1,8	69,4	6,3
N ₄₅ P ₄₅	18,4	1,6	70,5	6,5
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	19,9	1,9	72,9	6,8
N ₆₀ P ₆₀	20,3	1,9	74,7	6,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	21,7	2,1	77,0	7,3
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	16,9	1,6	67,0	6,0
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	17,8	1,9	70,2	6,3
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	14,0	1,6	68,8	6,3
Мизорин	13,7	1,8	70,5	6,6
Экстрасол	13,8	1,8	71,4	6,4
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	16,2	2,1	73,6	6,8
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	16,7	2,0	74,4	6,9
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	16,5	2,2	76,3	7,1
НСР ₀₅	0,9	0,2	2,2	0,3

Максимальная высота и масса растений льна в эти фазы сформирована при применении N₆₀P₆₀K₆₀.

В среднем за 2021-2023 гг. в фазу «ёлочка» на контрольном варианте высота 1 сырого растения составила 15,9 см, а масса – 1,5 г (таблица 22).

Таблица 22 – 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

Под действием агрохимикатов в эту фазу происходило равномерное увеличение биометрических показателей растений льна, за исключением вариантов с применением биопрепаратов без фона удобрений. Получено существенное повышение биометрии 1 сырого растения на вариантах с NPK по отношению к таким же вариантам с применением только NP. Максимальное повышение биометрических показателей растений достигнуто при внесении

в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ независимо от срока и способа внесения фосфорно-калийных удобрений. Они составили по отношению к контролю в увеличении высоты на 7,9 см или 49,7%, а массы – на 1,2 г или 80,0%.

В фазу цветения льна на контрольном варианте высота 1 сырого растения составила 61,1 см, а масса – 5,1 г.

Тенденции во влиянии агрохимикатов на биометрические показатели растений льна масличного, отмеченные в фазу «ёлочка», в среднем за 3 года сохранились и в фазу цветения. Но наибольшие показатели высоты и массы 1 сырого растения получены на варианте с осенним применением $P_{60}K_{60}$ и весенним – азотных в такой же дозе. Увеличение биометрических показателей по сравнению с контрольным вариантом достигало 18,2 см или 29,8% и 2,7 г или 52,9%.

4.2 Изменение содержания NPK в растениях льна

В 2021 году при низком содержании в почве P_2O_5 и K_2O по Мачигину использование удобрений обеспечивало повышение P_2O_5 и K_2O в растениях льна на всех вариантах в фазу «ёлочка» и цветения (таблица 23). В фазу «ёлочка» максимальная концентрация NPK в растениях достигнута под действием удобрений в дозах $N_{60}P_{60}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$ весной под предпосевную культивацию, в фазу цветения – $N_{30}P_{30}$ и $N_{30}P_{30}K_{30}$ припосевным способом. Повышение по сравнению с контрольным вариантом содержания основных элементов питания составило в фазу «ёлочка» в абсолютном выражении: общего азота 0,23-0,25, фосфора 0,09-0,10 и калия 0,16-0,18%; в фазу цветения, соответственно 0,33-0,36, 0,18-0,19 и 0,26-0,27%.

При применении микробиологических препаратов без минеральных удобрений существенное повышение количества азота в растениях льна по сравнению с контрольным вариантом зафиксировано только в фазу цветения.

Таблица 23 – Содержание основных элементов питания в растениях льна масличного в 2021 году, % 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	5,20	0,45	3,10	3,72	0,33	2,77
внесение весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	5,32	0,58	3,15	3,84	0,39	2,84
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	5,28	0,57	3,17	3,88	0,41	2,88
N ₄₅ P ₄₅	5,35	0,58	3,20	3,93	0,45	2,92
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	5,41	0,50	3,25	3,96	0,46	2,95
N ₆₀ P ₆₀	5,53	0,54	3,26	4,01	0,48	2,93
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,56	0,55	3,28	3,96	0,46	2,99
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	5,30	0,49	3,15	3,88	0,38	2,82
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	5,31	0,48	3,18	3,80	0,40	2,86
N ₄₅ P ₄₅	5,35	0,50	3,20	3,85	0,44	2,90
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	5,38	0,51	3,22	3,83	0,44	2,95
N ₆₀ P ₆₀	5,41	0,55	3,20	3,93	0,46	2,93
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,45	0,53	3,23	3,95	0,48	2,95
применение при посеве						
N ₃₀ P ₃₀	5,41	0,52	3,21	4,05	0,51	3,04
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	5,43	0,53	3,25	4,08	0,52	3,03
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве						
Флавобактерин	5,19	0,44	3,11	3,81	0,35	2,74
Мизорин	5,22	0,46	3,12	3,85	0,34	2,78
Экстрасол	5,20	0,47	3,13	3,88	0,35	2,79
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	5,25	0,53	3,25	3,96	0,38	2,92
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	5,21	0,51	3,28	3,98	0,38	2,96
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	5,30	0,55	3,21	4,00	0,51	2,99
НСР ₀₅	0,08	0,04	0,10	0,07	0,03	0,05

На фоне применения минеральных удобрений в дозе N₃₀P₃₀ увеличение концентрации основных элементов питания достигнуто на варианте с обработкой семенного материала льна перед посевом микробиологическим препаратом Экстрасол в обе фазы проведения учетов.

В 2022 году при средней обеспеченности почвы P_2O_5 в фазу «ёлочка» не зафиксировано существенного увеличения концентрации P_2O_5 в растениях льна масличного при проведении опыта (таблица 24).

Таблица 24 – Содержание основных элементов питания в растениях льна масличного в 2022 году, % на абсолютно сухое вещество

Варианты	Фаза «ёлочка»			Фаза цветение		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
контроль	3,78	0,63	3,56	3,43	0,44	3,05
внесение весной под культивацию						
$N_{30}P_{30}$	5,13	0,65	3,61	4,48	0,50	3,18
$N_{30}P_{30}K_{30}$	5,18	0,64	3,66	4,51	0,51	3,20
$N_{45}P_{45}$	5,24	0,65	3,68	4,60	0,53	3,19
$N_{45}P_{45}K_{45}$	5,26	0,67	3,69	4,68	0,51	3,20
$N_{60}P_{60}$	5,41	0,67	3,72	4,74	0,55	3,26
$N_{60}P_{60}K_{60}$	5,45	0,66	3,75	4,80	0,57	3,30
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию						
$N_{30}P_{30}$	5,15	0,65	3,62	4,45	0,49	3,10
$N_{30}P_{30}K_{30}$	5,20	0,68	3,70	4,47	0,53	3,20
$N_{45}P_{45}$	5,26	0,67	3,69	4,53	0,55	3,16
$N_{45}P_{45}K_{45}$	5,31	0,68	3,70	4,61	0,58	3,22
$N_{60}P_{60}$	5,38	0,67	3,70	4,77	0,60	3,25
$N_{60}P_{60}K_{60}$	5,42	0,69	3,73	4,82	0,58	3,31
применение при посеве						
$N_{30}P_{30}$	5,21	0,65	3,77	4,54	0,55	3,15
$N_{30}P_{30}K_{30}$	5,20	0,67	3,74	4,52	0,54	3,20
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве						
Флавобактерин	3,83	0,66	3,72	4,31	0,42	3,10
Мизорин	3,86	0,68	3,71	4,28	0,45	3,16
Экстрасол	3,91	0,60	3,74	4,37	0,43	3,18
Флавобактерин + $N_{30}P_{30}$	5,28	0,65	3,71	4,88	0,45	3,15
Мизорин + $N_{30}P_{30}$	5,31	0,68	3,75	4,92	0,33	3,20
Экстрасол + $N_{30}P_{30}$	5,35	0,69	3,77	4,86	0,30	3,18
HCP_{05}	0,10	0,07	0,11	0,04	0,05	0,08

В фазу цветения, наоборот, поглощение растениями льна фосфора минеральных удобрений из почвы способствовало существенному увеличению содержания общего фосфора в растениях.

Наибольшая концентрация NPK в растениях льна в обе фазы вегетации получена при применении удобрений в максимальных дозах $N_{60}P_{60}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$ независимо от срока внесения удобрений. В этом году существенного влияния локального способа применения минеральных удобрений в изменении концентрации основных элементов питания в растениях льна по сравнению с разбросным применением не выявлено.

В фазу «ёлочка» на вариантах с биопрепаратами при их применении без минеральных удобрений существенное увеличение концентрации общего азота получено при использовании биопрепарата Экстрасол, которое по сравнению с контрольным вариантом достигало 0,13%. В фазу цветения, наоборот, на всех вариантах с биопрепаратами при их использовании без фона минеральных удобрений отмечено математически достоверное снижение общего азота. Это, безусловно, объясняется эффектом «ростового» разбавления на формирование биологической массы на данных вариантах по сравнению с контролем.

При посеве семян льна, обработанными биопрепаратами, на фоне минеральных удобрений математически достоверное увеличение концентрации NPK в фазу «ёлочка» отмечено при использовании Экстарсола, в фазу цветения – Мизорина.

В 2023 году при очень низком содержании в почве P_2O_5 по Мачигину (7,1 мг/кг почвы) в действии удобрений на количество NPK за вегетационный период зафиксированы такие же тенденции, как и в 2021 г. при низком содержании в почве P_2O_5 .

Концентрация P_2O_5 при использовании удобрений возрастала на всех вариантах опыта в обе фазы проведения наблюдений. Концентрация общего калия не зависела от уровня изменяющегося минерального питания, так как

различия в содержании этого элемента статистически достоверно не отличаются по сравнению с контрольным вариантом (таблица 25).

Таблица 25 – Содержание основных элементов питания в растениях льна масличного в 2023 году, % 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	3,53	0,38	3,35	3,59	0,33	3,10
внесение весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	4,74	0,52	3,41	4,15	0,45	3,12
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	4,70	0,53	3,38	4,21	0,46	3,15
N ₄₅ P ₄₅	4,86	0,56	3,44	4,42	0,50	3,11
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	4,91	0,59	3,44	4,45	0,49	3,14
N ₆₀ P ₆₀	5,06	0,60	3,46	4,51	0,52	3,19
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,05	0,61	3,50	4,56	0,53	3,20
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	4,69	0,51	3,40	4,18	0,46	3,15
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	4,75	0,51	3,44	4,20	0,48	3,18
N ₄₅ P ₄₅	4,88	0,54	3,39	4,33	0,50	3,16
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	4,92	0,55	3,45	4,42	0,52	3,19
N ₆₀ P ₆₀	5,00	0,57	3,48	4,56	0,54	3,15
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,02	0,58	3,46	4,55	0,53	3,18
применение при посеве						
N ₃₀ P ₃₀	4,81	0,55	3,42	4,24	0,56	3,16
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	4,78	0,55	3,47	4,26	0,58	3,20
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве						
Флавобактерин	3,40	0,39	3,36	3,66	0,32	3,11
Мизорин	3,44	0,39	3,40	3,70	0,34	3,10
Экстрасол	3,47	0,38	3,41	3,68	0,35	3,11
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	4,84	0,51	3,45	4,33	0,50	3,18
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	4,86	0,53	3,39	4,40	0,51	3,21
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	4,91	0,55	3,40	4,45	0,55	3,25
HCP ₀₅	0,11	0,05	0,18	0,15	0,06	0,15

Максимум содержания NPK во льне в обе фазы вегетации зафиксировано при применении удобрений в дозах N₆₀P₆₀ и N₆₀P₆₀K₆₀ весной с заделкой культивацией.

Под действием микробиологических препаратов достоверных изменений содержания концентрации NPK в растениях льна в этом году не выявлено.

При посеве семян льна, обработанных биопрепаратами, отмечено математически достоверное повышение концентрации NPK в растениях в обе фазы проведения наблюдений по сравнению с контрольным вариантом, но при этом статистически достоверные различия в изменении этих показателей в зависимости от вида биопрепарата не установлены.

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 контрольным вариантом. Содержание общего калия статистически достоверно повышалось в эту фазу только при внесении наибольшей дозы калийных удобрений 60 кг/га д.в. при весеннем внесении с последующей заделкой культиватором.

Максимальное увеличение NPK также достигнуто при применении $N_{60}P_{60}K_{60}$. Увеличение по сравнению с контролем в абсолютном выражении составила общего азота 1,18%, общего фосфора – 0,12 и общего калия 0,17%.

В фазу цветения тенденции в действии удобрений на количество общего азота и калия сохранились, как и в предыдущую фазу (таблица 26). Максимальная концентрация NK получено при внесении удобрений с заделкой культивацией в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$. Но максимальное содержание P_2O_5 зафиксировано от действия удобрений в дозах $N_{30}P_{30}$ и $N_{30}P_{30}K_{30}$. Повышение количества этого макроэлемента по отношению к вариантам, на которых вносились удобрения вразброс, при внесении азотно-фосфорных удобрений составило 0,09-0,10%, от NPK – 0,08-0,09%.

Достоверное повышение концентрации азота по отношению к контролю при использовании биопрепаратов без фона минеральных удобрений получено лишь в фазу цветения.

Таблица 26 – Содержание основных элементов питания в растениях льна масличного в среднем 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 фазу цветение в среднем за 3 года наибольшая концентрация НРК при использовании биопрепаратов на фоне припосевного применения N₃₀P₃₀ получена при использовании препарата Экстрасол. Но в целом различия в содержании основных элементов питания между вариантами опыта с применением биопрепаратов статистически не достоверны.

5 ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И БАКТЕРИАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ

5.1 Урожайность льна масличного

Урожайность льна в 2021 году в условиях благоприятных по увлажнению почвы на контроле сформирована на уровне 1,73 т/га маслосемян (таблица 27, приложение 14).

Внесение удобрений в 2021 году обеспечивало существенное повышение урожайности маслосемян к контролю на всех вариантах опыта. Но при этом их действие на увеличение урожайности существенно различалось от способа и срока применения. Внесение с последующей заделкой культиватором в дозах $N_{30}P_{30}$ и $N_{45}P_{45}$ увеличивало урожайность маслосемян к контролю на 0,48-0,57 т/га или на 27,7-32,9%.

При применении удобрений в дозах P_{30} и P_{45} под основную обработку почвы под плуг, а азотных в этих же дозах 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 в почве и при смешивании гранул удобрений плугом происходит ускорение процессов химической сорбции за осенне-зимне-весенний период с формированием труднорастворимых соединений.

Повышение дозы азотных удобрений до 60 кг/га при использовании фосфорных удобрений осенью и весной создавало лишь тенденцию в повышении урожайности маслосемян по сравнению с вариантом, на котором применяли 45 кг/га азотных удобрений, из-за того, что увеличение урожайности в этом случае не превышает НСР опыта.

Таблица 27 – 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	-	-

Добавление к азотно-фосфорным удобрениям хлористого калия в дозах K₃₀, K₄₅, K₆₀ не способствовало повышению продуктивности маслосемян. При этом, установлена четкая тенденция к снижению урожайности. Но данные снижения урожайности меньше НСР опыта.

Повышение урожайности в опыте в 2021 году достигнуто на варианте с припосевным внесением азотно-фосфорных удобрений дозе N₃₀P₃₀. Повыше-

ние 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%.

Эффективной была в этот год проведения полевых опытов обработка посевного материала льна микробиологическими удобрениями. Наибольшая прибавка урожайности получена от действия Экстрасола, а при совместном применении с удобрениями от Флавобактерина. Увеличение урожайности к контролю составило 0,28 и 0,79 т/га или 16,2 и 45,6%.

При нехватке влаги в почве в 2022 году урожайность маслосемян на контроле составила 1,12 т/га. Это на 0,61 т/га меньше, чем в 2022 году.

При дефиците влаги, но на фоне средней обеспеченности почвы доступным фосфором по Мачигину, способ и срок внесения удобрений уже не оказывал существенного влияния на урожайность льна. Максимальное действие на урожайность льна было получено от величины дозы удобрений. Их внесение в дозе $N_{30}P_{30}$ обеспечивало увеличение урожайности к контролю на 0,54-0,63 т/га или на 48,2-56,3% и прибавка достигала максимума при припосевном внесении $N_{45}P_{45}$ – на 0,73-0,76 т/га или на 65,2-67,8 т/га, в дозе $N_{60}P_{60}$ – на 0,82-0,87 т/га или 73,2-77,7%.

Применение калийных удобрений в 2022 году не способствовало увеличению урожайности маслосемян. Возможно, это связано с высокой степенью обеспеченности обменным калием в почве.

В 2022 году максимальный эффект в повышении урожайности достигнут от инокуляции посевного материала биопрепаратом Флавобактерин. Повышение урожайности к контролю составило 0,11 т/га. Но на фоне локального припосевного применения удобрений более эффективно использование Экстрасола. Увеличение 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. По-видимому, основное

действие на урожайность культуры оказали очень низкое содержание в почве подвижного фосфора и дефицит минерального азота на начальном этапе вегетации.

Внесение азотно-фосфорных удобрений под сплошную культивацию в дозах 30, 45 и 60 кг/га NP способствовало равномерному увеличению урожайности маслосемян к контролю на 0,14, 0,29, 0,47 т/га или на 10,2, 21,2, 34,3%.

Внесение фосфорных удобрений осенью под вспашку и азотных весной под культивацию в дозах $N_{30}P_{30}$ и $N_{45}P_{45}$ во влиянии на урожайность маслосемян льна было практически сопоставимо с применением минеральных удобрений весной под культивацию перед посевом. Но на варианте с дозой $N_{60}P_{60}$ отмечено статистически достоверное снижение урожайности маслосемян на 0,13 т/га при дробном внесении удобрений (осенью фосфорных, азотных весной) по сравнению с однократным весенним применением. Возможно, это объясняется увеличением химической сорбции подвижного фосфора на фоне очень низкого содержания фосфора в почве и более интенсивным формированием вегетативной массы льна масличного при увеличении азотного питания.

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%.

Внесение калийных удобрений в 2023 году, не оказывало существенного влияния на урожайность льна масличного при их совместном применении с азотно-фосфорными удобрениями. Вероятно, как уже было отмечено выше, это обусловлено высокой степенью обеспеченности почвы этим макроэлементом.

Применение бактериальных препаратов в 2023 году для обработки семян льна масличного перед посевом было эффективно лишь при использова-

нии марок Мизорин и Экстрасол. Увеличение урожайности к контролю достигало при этом 0,11-0,13 т/га или 8,0-9,5%.

Положительное действие на урожайность льна от микробиологических удобрений существенно повышалось при применении их с припосевным внесением минеральных удобрений. Существенное увеличение урожайности на этих вариантах достигнуто по сравнению с вариантом, на котором удобрения использовались в дозе $N_{30}P_{30}$, и которое составило при применении Мизорина – 0,14 т/га, Экстрасола – 0,15 т/га или на 10,3 и 14,6%.

В среднем за 2021-2023 гг. урожайность маслосемян льна на контрольном варианте составила 1,41 т/га. Наибольшая продуктивность в опыте получена от $N_{60}P_{60}$ при их заделке весной культиватором. Прибавка к контролю составила 0,65 т/га или 46,1%.

При уменьшении дозы азотно-фосфорных удобрений в два раза, но при их применении локальным увеличением прибавка урожайности была только на 0,10 т/га или на 7,3% меньше, чем на варианте с применением до посева $N_{60}P_{60}$.

В среднем за 3 года было эффективно использование для обработки семян Экстрасола. Прибавка к контролю урожайности маслосемян достигала 0,16 т/га или 11,3%. При применении азотно-фосфорных удобрений совместно с обработкой 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 $N_{60}P_{60}$ весной с заделкой культивацией.

Наиболее тесная корреляционная зависимость определена от концентрации общего азота в растениях льна в фазу «ёлочка» и его урожайностью в среднем за 3 года, $r = 0,903 \pm 0,099$ (рисунок 9) и от содержания общего фосфора в эту же фазу, $r = 0,715 \pm 0,161$ (рисунок 10).

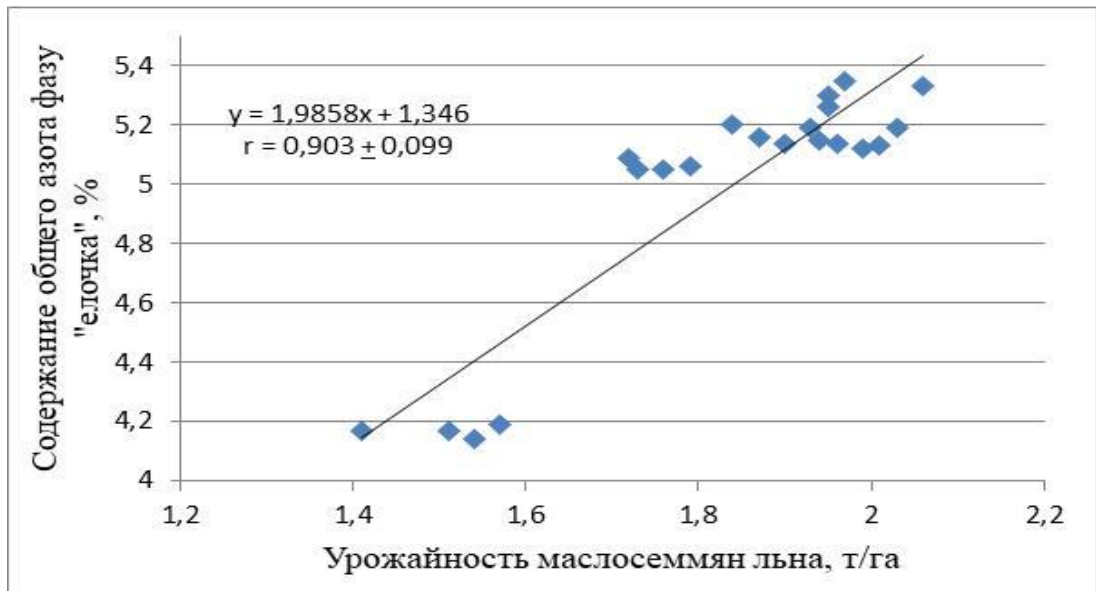


Рисунок 9 – Зависимость содержания общего азота в растениях льна в фазу «ёлочка» и урожайностью маслосемян льна в среднем за 2021-2023 гг.

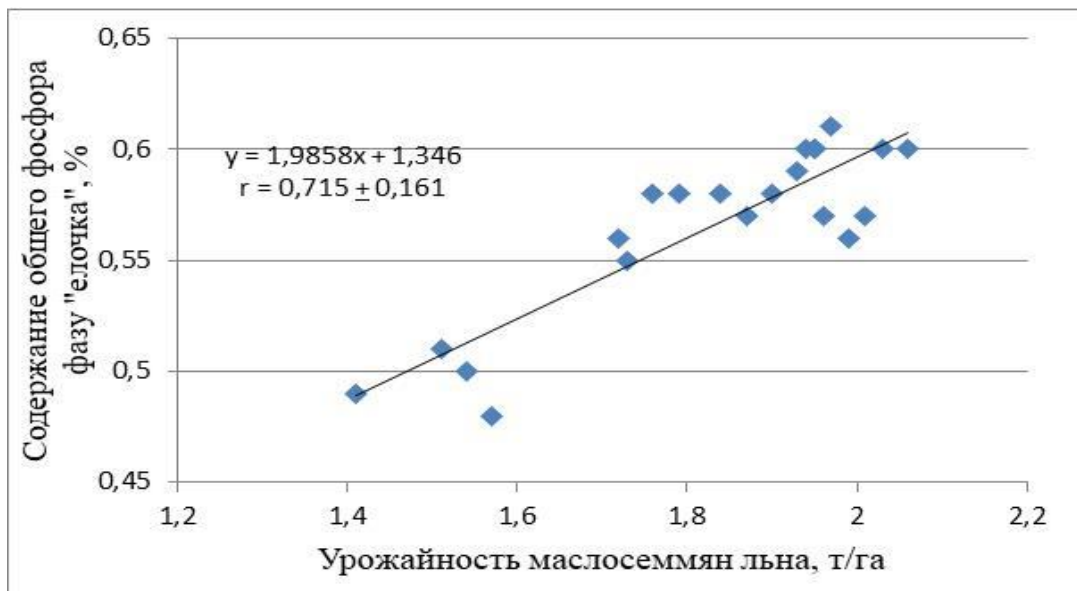


Рисунок 10 – Зависимость содержания общего фосфора в растениях льна в фазу «ёлочка» и урожайностью маслосемян льна в среднем за 2021-2023 гг.

Расчет составляющей действия различных факторов в повышении урожайности льна, как среднего значения влияния каждого фактора, так и его действие в паре за вычетом полного эффекта от другого фактора позволил сделать следующие выводы. Максимальное влияние на урожайность маслосемян оказали микробиологические препараты Мизорин и Экстрасол (таблица 28).

Таблица 28 – Расчет действия минеральных и микробиологических препаратов на урожайность льна масличного (среднее за 2021-2023 гг.)

Совместное влияние минеральных и бактериальных удобрений		Составляющая часть участия минеральных и микробиологических удобрений в повышении урожайности маслосемян льна			
доза удобрений и микробиологического препарата	прибавка урожайности к контролю, т/га	доза удобрений или микробиологического препарата	прибавка урожайности от действия удобрения или микробиологического препарата в чистом виде, т/га	расчетная доля влияния удобрения или микробиологического препарата на урожайность при совместном применении (за вычетом действия другого в чистом виде), т/га	среднее значение действия удобрения или микробиологического препарата, т/га
Флавобактерин + N ₃₀ P ₄₀	0,36	Флавобактерин	0,11	0,02	0,07
		N ₃₀ P ₃₀	0,34	0,25	0,29
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	0,42	Мизорин	0,11	0,08	0,10
		N ₃₀ P ₃₀	0,34	0,31	0,32
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	0,46	Экстрасол	0,15	0,12	0,13
		N ₃₀ P ₃₀	0,34	0,31	0,33

Относительное влияние микробиологических удобрений в увеличении урожайности маслосемян при совместном применении с минеральными удобрениями составило от 19,4 до 28,3% (рисунок 11). Наибольшее действие в увеличение урожайности получено на варианте с применением Экстрасола, минимальный эффект достигнут от Флавобактерина.

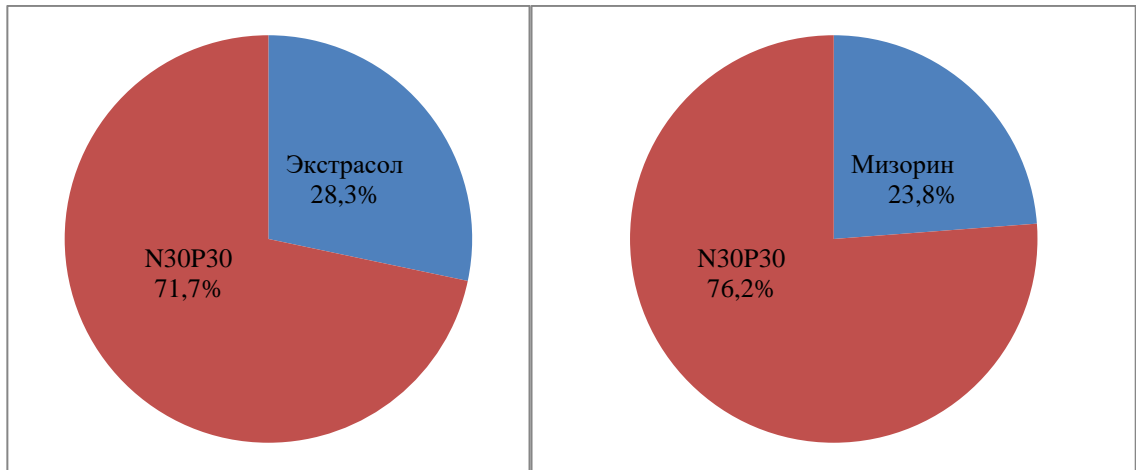


Рисунок 11 - Доли действия минеральных удобрений и микробиологических препаратов в увеличении урожайности маслосемян льна, %

Максимальная вегетативная масса льна на контрольном варианте сформирована в 2021 г. – 5,02 т/га, наименьшая в 2022 г. – 4,05 т/га, в среднем за 2021-2023 гг. достигала 4,64 т/га (таблица 29).

Применение удобрений во всех дозах увеличивало урожайность соломы в годы проведения полевых опытов.

Существенное влияние на увеличение побочной продукции льна масличного оказало применение калийных удобрений. При их применении в дозах 30, 45 и 60 кг/га при весеннем сроке внесения с последующей заделкой культиватором в 2021 и 2022 гг. получены математически достоверные прибавки урожайности соломы по сравнению с вариантами, на которых применялись только азотно-фосфорные удобрения в таких же дозах.

В 2023 году такое влияние было получено на варианте с максимальными дозами полного минерального удобрения при его внесении весной разбросным способом до посева и на вариантах с осенним применением.

Такое же влияние калийных удобрений на урожайность соломы в 2021 и 2023 гг. достигнуто и на вариантах с весенним припосевным внесением в дозах 30 кг/га д.в.

На вариантах с биопрепаратами существенное влияние на увеличение массы соломы льна масличного получено лишь в 2023 году, при его выращивании без фона минеральных удобрений.

Таблица 29 – Урожайность вегетативной массы льна (соломы), т/га

Варианты	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее за 3 года	Прибавка к контролю	
					т/га	%
контроль	5,02	4,05	4,84	4,64	-	-
внесение весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	5,36	4,36	5,02	4,91	0,27	5,9
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	5,51	4,50	5,15	5,05	0,41	8,9
N ₄₅ P ₄₅	5,59	4,53	5,21	5,11	0,47	10,1
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	5,80	4,71	5,35	5,29	0,65	13,9
N ₆₀ P ₆₀	5,71	4,65	5,55	5,30	0,66	14,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,88	4,83	5,70	5,47	0,83	17,9
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	5,23	4,40	5,98	5,20	0,56	12,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	5,30	4,48	5,10	4,96	0,32	6,9
N ₄₅ P ₄₅	5,44	4,52	5,22	5,06	0,42	9,1
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	5,58	4,63	5,35	5,19	0,55	11,8
N ₆₀ P ₆₀	5,75	4,70	5,41	5,29	0,65	13,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,91	4,90	5,56	5,46	0,82	17,6
применение при посеве						
N ₃₀ P ₃₀	5,40	4,38	5,15	4,98	0,34	7,3
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	5,55	4,49	5,31	5,12	0,48	10,3
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве						
Флавобактерин	5,09	4,15	5,02	4,75	0,11	2,4
Мизорин	5,05	4,10	5,09	4,75	0,11	2,3
Экстрасол	5,12	4,16	5,08	4,79	0,15	3,2
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	5,42	4,33	5,26	5,00	0,36	7,8
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	5,47	4,40	5,30	5,06	0,42	9,0
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	5,50	4,39	5,40	5,10	0,46	9,8
НСР ₀₅	0,15	0,14	0,14	0,24	-	-

В среднем за 2021-2023 гг. применение минеральных удобрений в дозе N₆₀P₆₀ независимо от способа и срока применения увеличивало по сравнению с контрольным вариантом урожайность соломы на 0,65-0,66 т/га или на 13,9-14,3%, а в дозе N₆₀P₆₀K₆₀ – на 0,82-0,83 т/га или на 17,6-17,9%.

На вариантах с биопрепаратами наибольшее повышение урожайности побочной продукции льна масличного получено при использовании Экстра-

сола. Увеличение урожайности по сравнению с контрольным вариантом соответственно достигало 0,46 совместно с минеральными удобрениями и 0,15 т/га или 9,8 и 3,2%.

5.2 Масличность и сбор масла в урожае льна масличного

Содержание масла в урожае льна на контроле в 2022 году составило 42,3%. Оно было практически одинаковым в 2021 и 2023 гг. – 40,2-40,9% (таблица 30).

В 2021 году применение удобрений обеспечивало существенное увеличение масличности основной продукции культуры. Наиболее эффективным было применение $N_{30}P_{30}$ при посеве льна. Прибавка содержания масла по сравнению с контрольным вариантом составила 5,8%. Под действием НРК зафиксировано уменьшение масличности по сравнению с такими же дозами с НР. Вероятно, это обусловлено увеличением формирования вегетативной массы (соломы) на этих вариантах и вследствие этого ухудшению качественных показателей маслосемян.

Применение Мизорина и Экстрасола в 2021 году увеличивало содержание масла по сравнению с контрольным вариантом на 1,6-2,2%. При совместном применении микробиологических и минеральных удобрений более высокий результат получен при использовании Флавобактерина. Увеличение к контрольному варианту масличности достигало 3,9%.

В 2022 году наибольшая масличность при внесении в дозе $N_{45}P_{45}$ весной под предпосевную культивацию. Повышение содержания масла по сравнению с контрольным вариантом достигало 2,9%. Увеличение дозы азотно-фосфорных удобрений до 60 кг/га д.в. снижало масличность семян льна.

В 2022 году пик содержания масла достигнут на варианте с внесением удобрений и микробиологического препарата Экстрасол. Прибавка к контролю достигала 3,2%.

Таблица 30 – Масличность льна, %

Варианты	2021 год	2022 год	2023 год	Среднее за 3 года	Прибавка к контролю, %
контроль	40,2	42,3	40,9	41,1	-
внесение весной под культивацию					
N ₃₀ P ₃₀	43,2	44,1	41,1	42,8	1,7
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	42,4	43,2	41,6	42,4	1,3
N ₄₅ P ₄₅	45,5	45,2	42,9	44,5	3,4
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	43,4	44,4	43,1	43,6	2,5
N ₆₀ P ₆₀	44,4	43,3	42,4	43,4	2,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	42,4	42,1	41,9	42,1	1,0
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию					
N ₃₀ P ₃₀	42,2	44,0	41,4	42,5	1,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	41,0	43,3	41,9	42,1	1,0
N ₄₅ P ₄₅	43,4	44,4	42,2	43,3	2,2
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	42,5	43,8	42,5	42,9	1,8
N ₆₀ P ₆₀	42,1	43,4	42,3	42,6	1,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	41,2	42,2	41,8	41,7	0,6
применение при посеве					
N ₃₀ P ₃₀	46,0	44,3	42,4	44,2	3,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	44,8	43,6	41,9	43,4	2,3
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве					
Флавобактерин	41,0	43,0	42,1	42,0	0,9
Мизорин	41,8	43,3	42,5	42,5	1,4
Экстрасол	42,4	44,1	41,9	42,8	1,7
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	44,1	45,1	42,4	43,9	2,8
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	44,0	44,8	41,4	43,4	2,3
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	43,3	45,5	42,9	43,9	2,8
НСР ₀₅	1,3	1,8	1,4	1,4	-

В 2023 году максимум увеличения масличности получен на варианте с применением N₄₅P₄₅K₄₅ с последующей заделкой сплошной культивацией. При обработке посевного материала препаратом Мизорин достигнут наибольший эффект. Но при совместном использовании биопрепаратов и азотно-фосфорных удобрений пик содержания масла достигнут при применении Экстрасола.

В среднем за 2021-2023 гг. содержание масла на контроле составило 41,1%. При использовании удобрений в дозе $N_{45}P_{45}$ весной под культивацию масличность повышалась к контролю на 3,4%. Повышение дозы NP удобрений, как и применение полного минерального удобрения, снижало масличность основной продукции льна.

Высокий эффект во влиянии на масличность оказало применение минеральных удобрений припосевным способом $N_{30}P_{30}$. Прибавка только на 0,3% меньше, чем при внесении весной $N_{45}P_{45}$ под предпосевную культивацию.

В среднем за 2021-2023 гг. на вариантах с испытанием биопрепаратов более эффективно было использование Экстрасола, как без применения минеральных удобрений, так и на фоне NP . 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.

На контрольном варианте наибольший сбор масла льна получен в 2021 году (695 кг/га) и наименьший в 2022 г. (474 кг/га), (таблица 31). В среднем за 2021-2023 гг. сбор масла составил 576 кг/га.

В 2021 году наибольший сбор масла получен на варианте с припосевным внесением минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{30}$, в 2022 году - $N_{60}P_{60}$ весной под предпосевную культивацию, а в 2023 г. – от совместного использования микробиологического препарата Экстрасол с минеральными удобрениями.

В среднем за 2021-2023 гг. при применении $N_{60}P_{60}$ увеличение сбора масла к контролю составила 319 кг/га или 55,4%. Практически сопоставимый эффект во влиянии на сбор масла получен от обработки семян льна перед посевом биопрепаратом Экстрасол и выращиванием на фоне удобрений в дозе $N_{30}P_{30}$.

Таблица 31 – Сбор масла в урожае маслосемян льна, кг/га

Варианты	2021 год	2022 год	2023 год	Среднее за 3 года	Прибавка к кон- тролю	
					кг/га	%
контроль	695	474	560	576	-	-
внесение весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	955	732	621	769	193	33,6
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	912	691	636	746	170	29,6
N ₄₅ P ₄₅	1047	836	712	865	289	50,2
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	981	813	733	842	266	46,2
N ₆₀ P ₆₀	1043	862	780	895	319	55,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	946	796	754	832	256	44,4
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	848	748	613	736	160	27,8
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	820	714	633	722	146	25,4
N ₄₅ P ₄₅	920	835	675	810	234	40,6
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	888	797	689	791	215	37,4
N ₆₀ P ₆₀	930	842	723	832	256	44,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	927	793	723	814	238	41,4
применение при посеве						
N ₃₀ P ₃₀	1136	775	700	870	294	51,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	1035	741	712	829	253	44,0
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве						
Флавобактерин	787	516	615	639	63	11,0
Мизорин	777	511	629	639	63	10,9
Экстрасол	852	542	629	674	98	17,1
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	1111	785	725	874	298	51,7
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	1060	815	741	872	296	51,4
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	1022	860	794	892	316	54,9
НСР ₀₅	19	21	17	30	-	-

6 ВЫНОС И БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО

Основная доля потребления азота обуславливается выносом маслосеменами льна, а не его соломой. Максимальный вынос азота маслосеменами и вегетативной массой льна на контрольном варианте получен в 2021 г., который составил соответственно 57 и 52 кг/га, наименьший в 2022 г. – 30 и 23 кг/га (таблица 32). Суммарный вынос в среднем за 2021-2023 гг. на контроле достигал 77 кг/га.

Внесение удобрений обеспечивало увеличение поглощения азота. В 2021 году максимальное повышение выноса этого макроэлемента маслосеменами льна обеспечивало применение удобрений при посеве в дозах $N_{30}P_{30}$ и $N_{30}P_{30}K_{30}$, а в соломе в этот год полевых опытов - в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$. В 2022 и 2023 гг. наибольшее увеличение выноса азота достигнуто при внесении азотных удобрений весной в дозе N_{60} на фоне фосфорных и фосфорно-калийных удобрений в таких же дозах независимо от способа и срока их применения.

В среднем за 2021-2023 гг. суммарный вынос азота достигал максимума 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%.

При сравнительном анализе действия доз удобрений $N_{30}P_{30}$ и $N_{30}P_{30}K_{30}$ наибольшее внесение суммарного выноса азота получено при их внесении припосевным способом. Увеличения выноса по сравнению с вариантами, на которых удобрения вносились разбросным способом, составили 7-8 кг/га или 7,4-8,5%.

На вариантах с применением биопрепаратов суммарный вынос азота максимальным был при использовании Экстрасола (рисунок 12).

Таблица 32 - Вынос азота с урожаем маслосемян и вегетативной массой льна, кг/га

Варианты	Вынос маслосемянами				Вынос вегетативной массой				Суммарный вынос			
	2021	2022	2023	среднее	2021	2022	2023	среднее	2021	2022	2023	среднее
контроль	57	30	40	42	52	23	31	35	109	53	71	77
внесение весной под культивацию												
N ₃₀ P ₃₀	73	49	46	56	55	28	31	38	128	77	77	94
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	71	48	47	55	58	30	34	40	129	78	81	95
N ₄₅ P ₄₅	78	56	53	62	61	32	36	43	139	88	89	105
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	77	57	56	63	62	32	35	43	139	89	91	106
N ₆₀ P ₆₀	81	64	62	69	64	35	36	45	145	99	98	114
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	75	61	61	66	67	38	39	48	142	99	100	114
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию												
N ₃₀ P ₃₀	67	50	46	54	54	28	38	40	121	78	84	94
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	67	48	47	54	55	31	33	40	122	79	80	94
N ₄₅ P ₄₅	72	57	53	61	57	30	34	41	129	87	87	102
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	72	57	53	61	60	33	36	43	132	90	89	104
N ₆₀ P ₆₀	76	62	58	65	62	36	37	45	138	98	95	110
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	75	61	59	65	67	37	38	47	142	98	97	112
применение при посеве												
N ₃₀ P ₃₀	84	51	53	62	57	28	32	39	141	79	85	101
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	79	50	53	61	60	30	34	41	139	80	87	102
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве												
Флавобактерин	63	34	43	47	52	21	33	35	115	55	76	82
Мизорин	62	32	43	46	52	22	34	36	114	54	77	82
Экстрасол	67	34	44	49	53	23	31	36	120	57	75	85
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	84	50	54	63	56	30	34	40	140	80	88	103
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	81	53	58	64	56	32	36	41	137	85	94	105
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	80	55	60	65	58	30	37	42	138	85	97	107
НСР ₀₅	5	3	3	6	6	3	2	3	8	5	6	7

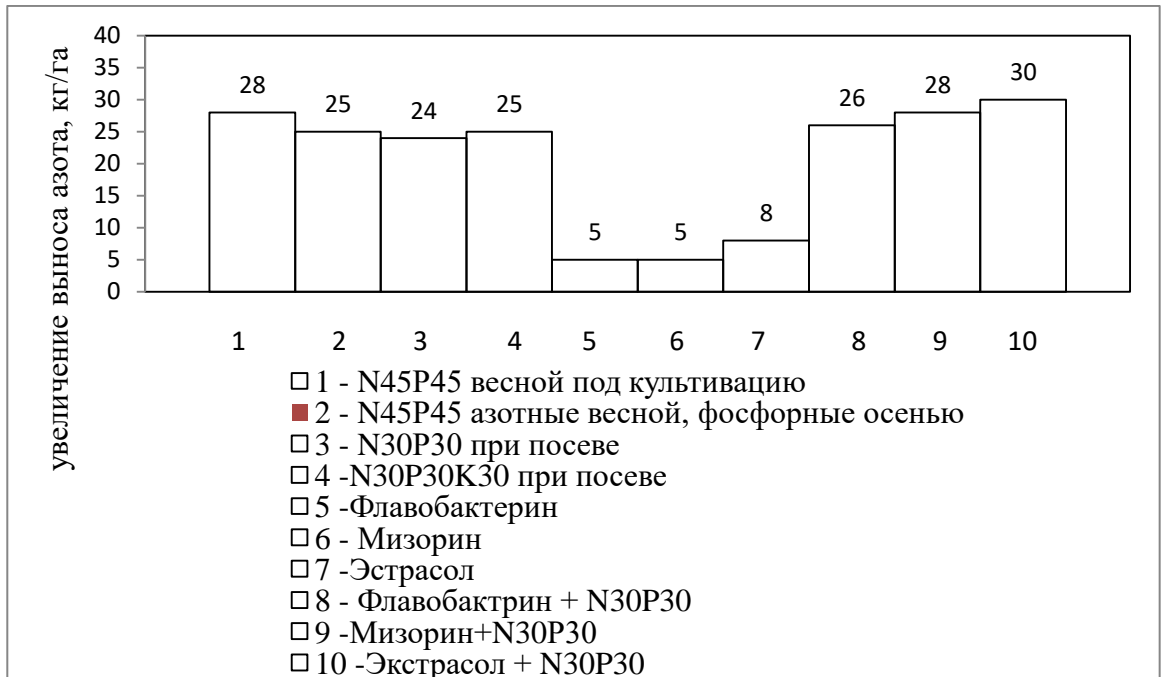


Рисунок 12 – Увеличение суммарного выноса азота в среднем за 2021-2023 гг. основной и побочной продукцией льна по сравнению с контрольным вариантом, кг/га

При выполнении опытов определено, что поглощение фосфора вегетативной массой льна (соломой) преобладало над выносом этого элемента маслосеменами. В среднем за 2021-2023 гг. суммарный вынос фосфора на контроле составил 18 кг/га (таблица 33).

В 2021 году при низком содержании в почве подвижного фосфора наибольший вынос этого элемента маслосеменами обеспечивало локальное припосевное внесение минеральных удобрений в дозах $N_{30}P_{30}$ и $N_{30}P_{30}K_{30}$, в 2021 и 2023 гг. – в дозе $N_{60}P_{60}$ при применении азотно-фосфорных удобрений весной под предпосевную культивацию. В вегетативной массе льна (соломе) существенное увеличение поглощения фосфора достигалось при применении удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Наибольший общий вынос фосфора в среднем за 2021-2023 гг. сформирован при использовании $N_{60}P_{60}K_{60}$. Увеличение выноса по сравнению с контрольным вариантом достигало 10 кг/га или 55,6%.

Таблица 33 - Вынос фосфора с урожаем маслосемян и вегетативной массой льна, кг/га

Варианты	Вынос маслосемянами				Вынос вегетативной массы				Суммарный вынос			
	2021	2022	2023	среднее	2021	2022	2023	среднее	2021	2022	2023	среднее
контроль	11	9	5	8	12	11	6	10	23	20	11	18
внесение весной под культивацию												
N ₃₀ P ₃₀	13	13	6	11	14	13	7	11	27	26	13	22
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	13	13	7	11	14	13	7	11	27	26	14	22
N ₄₅ P ₄₅	14	16	8	12	17	15	8	13	31	31	16	25
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	15	16	8	13	18	15	9	14	33	31	17	27
N ₆₀ P ₆₀	17	17	10	15	17	15	8	13	34	32	18	28
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	16	16	10	14	18	16	9	14	34	32	19	28
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию												
N ₃₀ P ₃₀	12	14	6	11	15	12	8	12	27	26	14	23
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	13	14	6	11	15	13	7	12	28	27	13	23
N ₄₅ P ₄₅	13	16	8	12	16	14	8	13	29	30	16	25
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	15	16	8	13	16	15	8	13	31	31	16	26
N ₆₀ P ₆₀	15	16	9	13	15	15	9	13	30	31	18	26
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	17	16	9	14	17	16	9	14	34	32	18	28
применение при посеве												
N ₃₀ P ₃₀	19	15	8	14	16	14	7	12	35	29	15	26
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	18	15	8	14	17	13	8	13	35	28	16	27
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве												
Флавобактерин	11	10	6	9	11	11	6	9	22	21	12	18
Мизорин	11	9	6	9	10	11	7	9	21	20	13	18
Экстрасол	12	10	6	9	11	12	6	10	23	22	12	19
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	19	15	8	14	15	14	8	12	34	29	16	26
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	18	15	8	14	17	14	7	13	35	29	15	27
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	18	16	9	14	16	14	8	13	34	30	17	27
НСР ₀₅	1	2	0,5	1	2	2	1	1	2	2	1	3

На варианте с локальным припосевным внесением удобрений в дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$ содержание фосфора только на 1 кг/га меньше. При этом превосходит вынос на 3-4 кг/га по сравнению с аналогичными дозами минеральных удобрений, но внесённых разбросным способом.

Изменений выноса фосфора при применении микробиологических удобрений по отношению к контролю и варианту, на котором вносились удобрения в дозе $N_{30}P_{30}$ при посеве, не выявлено.

Вынос калия соломой льна существенно преобладал над накоплением его маслосеменами. Увеличение выноса калия маслосеменами при применении минеральных удобрений достигнуто на всех вариантах опыта по сравнению с контролем. Но математически достоверных различий при использовании калийных удобрений по сравнению с использованием только азотно-фосфорных удобрений не установлено. В вегетативной массе (соломе) льна, наоборот, происходило существенное увеличение выноса калия в 2021 и 2022 гг. при внесении калийных удобрений во всех дозах, в 2023 г. – только на вариантах с дозами удобрений $N_{45}P_{45}K_{45}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Общее поглощение калия на контрольном варианте растениями льна в среднем за 2021-2023 гг. достигало 82 кг/га (таблица 34). Максимальное повышение общего поглощения калия происходило от удобрения в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$, которое по отношению 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%, а при севе с удобрениями только Мизорина и Экстрасола по сравнению с вариантом, на котором осуществлялось припосевное внесение $N_{30}P_{30}$.

Таблица 34 - Вынос калия с урожаем маслосемян и вегетативной массой льна, кг/га

Варианты	Вынос маслосемянами				Вынос вегетативной массы				Суммарный вынос			
	2021	2022	2023	среднее	2021	2022	2023	среднее	2021	2022	2023	среднее
контроль	14	8	9	10	81	68	67	72	95	76	76	82
внесение весной под культивацию												
N ₃₀ P ₃₀	18	12	10	13	90	75	70	78	108	87	80	91
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	19	12	10	14	94	79	74	82	113	91	84	96
N ₄₅ P ₄₅	20	14	11	15	97	76	76	83	117	90	87	98
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	19	14	12	15	102	81	80	88	121	95	92	103
N ₆₀ P ₆₀	20	16	13	16	100	80	79	86	120	96	92	102
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	19	16	13	16	106	85	83	91	125	101	96	107
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию												
N ₃₀ P ₃₀	16	12	10	13	86	74	84	81	102	86	94	94
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	18	12	11	14	89	76	75	80	107	88	86	94
N ₄₅ P ₄₅	18	13	12	14	93	77	77	83	111	90	89	97
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	19	14	12	15	97	81	82	87	116	95	94	102
N ₆₀ P ₆₀	19	15	12	15	97	80	85	87	116	95	97	102
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	20	16	12	16	102	86	88	92	122	102	100	108
применение при посеве												
N ₃₀ P ₃₀	20	13	11	15	89	76	74	80	109	89	85	95
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	20	13	12	15	96	79	77	84	116	92	89	99
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве												
Флавобактерин	15	9	10	11	84	71	73	76	99	80	83	87
Мизорин	15	9	10	11	85	70	74	76	100	79	84	87
Экстрасол	16	9	10	12	85	72	75	77	101	81	85	89
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	21	13	11	15	94	74	82	84	115	87	93	99
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	21	14	12	16	92	78	84	85	113	92	96	101
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	19	15	13	16	95	77	85	85	114	92	98	101
НСР ₀₅	2	3	3	2	3	2	3	4	6	4	4	5

С учетом того, что вегетативная масса льна остается в поле и заделывается в почву, баланс элементов питания посчитан только по отчуждаемым NPK маслосеменами.

Баланс азота на контроле был отрицательным и составил в среднем за 2021-2023 гг. 42 кг/га (таблица 35).

Бликий к нулевому баланс азота достигнут только в 2022 и 2023 гг. при применении N_{60} . Но в среднем за 2021-2023 гг. в опыте получен отрицательный баланс азота. Минимальным он был при применении N_{60} и составил 5-9 кг/га, максимальным в дозе N_{30} - 24-32 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 (таблица 36).

Профицит баланса фосфора возрастал с увеличением дозы, внесённых фосфорных удобрений. В среднем за 2021-2023 гг. он составил при использовании P_{30} - 16-19 кг/га, при использовании P_{60} - 45-47 кг/га.

Дефицит калия в балансе на контроле в среднем за 3 года достигал 10 кг/га (таблица 37). Профицит калия в балансе получен на всех вариантах с применением калийных удобрений. Профицит составил при применении K_{30} - 15-16 кг/га, K_{45} и K_{60} - 44 кг/га. Отрицательный баланс калия на вариантах с применением NP составлял 11-16 кг/га.

Таблица 35 - Баланс азота при выращивании льна масличного, кг/га

Варианты	Вынос азота с маслосеменами, кг/га				Приход азота с удобрениями	Баланс азота			
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее		2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее
контроль	57	30	40	42	0	-57	-30	-40	-42
внесение весной под культивацию									
N ₃₀ P ₃₀	73	49	46	56	30	-43	-19	-16	-26
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	71	48	47	55	30	-41	-18	-17	-25
N ₄₅ P ₄₅	78	56	53	62	45	-33	-11	-8	-17
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	77	57	56	63	45	-32	-12	-11	-18
N ₆₀ P ₆₀	81	64	62	69	60	-21	-4	-2	-9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	75	61	61	66	60	-15	-1	-1	-6
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию									
N ₃₀ P ₃₀	67	50	46	54	30	-37	-20	-16	-24
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	67	48	47	54	30	-37	-18	-17	-24
N ₄₅ P ₄₅	72	57	53	61	45	-27	-12	-8	-16
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	72	57	53	61	45	-27	-12	-8	-16
N ₆₀ P ₆₀	76	62	58	65	60	-16	-2	2	-5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	75	61	59	65	60	-15	-1	1	-5
применение при посеве									
N ₃₀ P ₃₀	84	51	53	62	30	-54	-21	-23	-32
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	79	50	53	61	30	-49	-20	-23	-31
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве									
Флавобактерин	63	34	43	47	0	-63	-34	-43	-47
Мизорин	62	32	43	46	0	-62	-32	-43	-46
Экстрасол	67	34	44	49	0	-67	-34	-44	-49
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	84	50	54	63	30	-54	-20	-24	-33
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	81	53	58	64	30	-51	-23	-28	-34
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	80	55	60	65	30	-50	-25	-30	-35

Таблица 36 - Баланс фосфора при выращивании льна масличного, кг/га

Варианты	Вынос фосфора с маслосеменами, кг/га				Приход P ₂ O ₅ с удобрениями	Баланс фосфора			
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее		2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее
контроль	11	9	5	8	0	-11	-9	-5	-8
внесение весной под культивацию									
N ₃₀ P ₃₀	13	13	6	11	30	17	17	24	19
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	13	13	7	11	30	17	17	23	19
N ₄₅ P ₄₅	14	16	8	12	45	31	29	37	33
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	15	16	8	13	45	30	29	37	32
N ₆₀ P ₆₀	17	17	10	15	60	43	43	50	45
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	16	16	10	14	60	44	44	50	46
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию									
N ₃₀ P ₃₀	12	14	6	11	30	18	16	24	19
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	13	14	6	11	30	17	16	24	19
N ₄₅ P ₄₅	13	16	8	12	45	32	29	37	33
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	15	16	8	13	45	30	29	37	32
N ₆₀ P ₆₀	15	16	9	13	60	45	44	51	47
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	17	16	9	14	60	43	44	51	46
применение при посеве									
N ₃₀ P ₃₀	19	15	8	14	30	11	15	22	16
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	18	15	8	14	30	12	15	22	16
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве									
Флавобактерин	11	10	6	9	0	-11	-10	-6	-9
Мизорин	11	9	6	9	0	-11	-9	-6	-9
Экстрасол	12	10	6	9	0	-12	-10	-6	-9
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	19	15	8	14	30	11	15	22	16
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	18	15	8	14	30	12	15	22	16
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	18	16	9	14	30	12	14	21	16

Таблица 37 - Баланс калия при выращивании льна масличного, кг/га

Варианты	Вынос калия с маслосеменами, кг/га				Приход калия с удобрениями	Баланс калия			
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее		2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее
контроль	14	8	9	10	0	-14	-8	-9	-10
внесение весной под культивацию									
N ₃₀ P ₃₀	18	12	10	13	0	-18	-12	-10	-13
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	19	12	10	14	30	11	18	20	16
N ₄₅ P ₄₅	20	14	11	15	0	-20	-14	-11	-15
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	19	14	12	15	45	26	31	33	30
N ₆₀ P ₆₀	20	16	13	16	0	-20	-16	-13	-16
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	19	16	13	16	60	41	44	47	44
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию									
N ₃₀ P ₃₀	16	12	10	13	0	-16	-12	-10	-13
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	18	12	11	14	30	12	18	19	16
N ₄₅ P ₄₅	18	13	12	14	0	-18	-13	-12	-14
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	19	14	12	15	45	26	31	33	30
N ₆₀ P ₆₀	19	15	12	15	0	-19	-15	-12	-15
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	20	16	12	16	60	40	44	48	44
применение при посеве									
N ₃₀ P ₃₀	20	13	11	15	0	-20	-13	-11	-15
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	20	13	12	15	30	10	17	18	15
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве									
Флавобактерин	15	9	10	11	0	-15	-9	-10	-11
Мизорин	15	9	10	11	0	-15	-9	-10	-11
Экстрасол	16	9	10	12	0	-16	-9	-10	-12
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	21	13	11	15	0	-21	-13	-11	-15
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	21	14	12	16	0	-21	-14	-12	-16
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	19	15	13	16	0	-19	-15	-13	-16

7 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И БАКТЕРИАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ ПОД ЛЁН МАСЛИЧНЫЙ

Экономическая оценка применения агрохимикатов под лён проводилась по следующим статьям: стоимость полученной продукции с 1 га, условный чистый доход с 1 га, затраты, понесённые при возделывании культуры на 1 га, себестоимость 1 т маслосемян льна и рентабельность выращивания льна.

Цена аммофоса составила 55 000 руб./т, аммиачной селитры – 23 000 руб./т, хлористого калия – 33 000 руб./т. Стоимость гектарной нормы микробиологических удобрений Флавобактерин и Мизорин 300 руб. за гектарную норму, Экстрасола – 310 руб./литр. Цена реализации маслосемян льна составила 32 руб./кг.

При определении затрат на внесение удобрений были использованы следующие показатели: внесение 100 кг удобрений - 19 руб., погрузка и транспортировка удобрений составляла 30% от затрат на внесение удобрений. Доставка дополнительной продукции (прибавка урожайности) льна масличного 300 руб./тонну.

Проведение экономической оценки показало, что при возделывании льна масличного в ООО «Заветы Ильича» Азовского района на контроле в среднем за 3 года опытов себестоимость 1 кг маслосемян достигала 15,70 рублей, а рентабельность - 104% (таблица 38).

Внесение удобрений наиболее эффективно было при их внесении припосевным способом в дозе $N_{30}P_{30}$. Уровень рентабельности увеличивался на 29%, при уменьшении себестоимости на 1,9 руб./кг.

Экономически обоснованным является использование микробиологических препаратов без применения минеральных удобрений. Оптимальные показатели экономической эффективности получены при инокуляции семян Экстрасолом.

Таблица 38 – 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 посевом 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

Уровень рентабельности возрастал по сравнению с контролем на 22%, при снижении себестоимости маслосемян на 1,5 руб./кг.

Эффективность минеральных удобрений существенно повышалась при применении удобрений и биопрепаратов. Высокие экономические показатели достигнуты при применении Экстрасола. Уровень рентабельности повышался по сравнению с вариантом, на котором вносились азотно-фосфорные

удобрения локальным припосевным методом на 7%, при уменьшении себестоимости на 0,5 руб./кг.

Проведение биоэнергетической оценки показало, что использование удобрений в среднем за 2021-2023 гг. повышает затраты совокупной энергии на 2,5-5,8 ГДж/га (таблица 39).

Таблица 39 - Биоэнергетическая оценка применения удобрений и микробиологических препаратов при возделывании льна масличного в среднем за 2021-2023 гг.

Варианты	Урожайность, т/га	Затраты совокупной энергии, ГДж/га	Энергия, накопленная в урожае, ГДж/га	Энергетическая эффективность	Энергоемкость продукции, ГДж/т	Прирост энергии в урожае сухого вещества, ГДж/га
контроль	1,41	10,3	33,1	3,21	7,30	22,8
внесение весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	1,79	12,8	42,1	3,29	7,15	29,3
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	1,76	13,0	41,4	3,18	7,39	28,4
N ₄₅ P ₄₅	1,94	14,3	45,6	3,19	7,37	31,3
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	1,93	14,6	45,4	3,11	7,56	30,8
N ₆₀ P ₆₀	2,06	15,6	48,4	3,10	7,57	32,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,97	16,0	46,3	2,89	8,12	30,3
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	1,73	12,9	40,7	3,16	7,46	27,8
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	1,72	13,1	40,4	3,08	7,62	27,3
N ₄₅ P ₄₅	1,87	14,4	43,9	3,05	7,70	29,5
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	1,84	14,7	43,2	2,94	7,99	28,5
N ₆₀ P ₆₀	1,95	15,7	45,8	2,92	8,05	30,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,95	16,1	45,8	2,84	8,26	29,7
применение при посеве						
N ₃₀ P ₃₀	1,96	12,7	46,1	3,63	6,48	33,4
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	1,90	12,9	44,7	3,47	6,79	31,8
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве						
Флавобактерин	1,54	10,3	36,2	3,51	6,69	25,9
Мизорин	1,51	10,3	35,5	3,45	6,82	25,2
Экстрасол	1,57	10,3	36,9	3,58	6,56	26,6
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	1,99	12,7	46,8	3,69	6,38	34,1
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	2,01	12,7	47,2	3,72	6,32	34,5
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	2,03	12,7	47,7	3,76	6,26	35,0

Максимальным этот показатель был при применении удобрения в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$. При применении минеральных удобрений наиболее оптимальные показатели получены при их внесении припосевным способом в дозе $N_{30}P_{30}$. Коэффициент энергетической эффективности составил 3,63 и увеличился по сравнению с контролем на 0,42 единицы. Энергоемкость тонны основной продукции льна снизилась на 0,82 ГДж, а прирост энергии в урожае повысился на 10,6 ГДж по сравнению с контрольным вариантом.

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

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 P₃₀ существенное увеличение содержания P₂O₅ 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 P₂O₅ 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 цветения 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 цветения 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 увеличению 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 ва-

рианте 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 ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абушинова, Е.В. Продуктивность семян льна масличного в зависимости от применения азотных удобрений на дерново-карбонатных почвах в условиях Ленинградской области: автореф. дис. на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Е.В. Абушинова Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. - Санкт-Петербург, 2018. - 21 с.
2. Агафонов, Е.В. Использование NPK удобрений яровым ячменём и зерновым сорго / Е.В. Агафонов, Р.А. Каменев. – пос. Персиановский, 2008. – 138 с.
3. Агафонов, Е.В. Почвы и удобрения Ростовской области / Е.В. Агафонов, Е.В. Полуэктов. – п. Персиановский, 1999. – 87 с.
4. Агафонов, Е.В. Применение минеральных удобрений и биопрепаратов под подсолнечник на черноземе обыкновенном / Е.В. Агафонов, А.В. Ващенко // Инновации в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур: Материалы международной научно-практической конференции. – пос. Персиановский: Донской ГАУ, 2015. – С. 3-7.
5. Агафонов, Е.В. Применение минеральных удобрений и биопрепаратов под подсолнечник на черноземе обыкновенном / Е.В. Агафонов, Г.Е. Мажуга, А.В. Ващенко // Зерновое хозяйство России. – 2015. – Т. 41. - № 5. – С. 55-59.
6. Агротехнические приемы формирования элементов продуктивности масличных культур: монография / И.В. Фетюхин, А.П. Авдеенко, С.С. Авдеенко, Н.А. Рябцева; под редакцией И.В. Фетюхина. - Персиановский: Донской ГАУ, 2021. — 214 с.
7. Азотфиксация и ее практическое использование: учебное пособие / Е.В. Агафонов, С.А. Гужвин, В.В. Турчин, А.А. Громаков. - Новочеркасск: Издательство Донского ГАУ. - 2017. – 88 с.

8. Аристовская, Т.В. Микробиология подзолистых почв / Т.В. Аристовская. – М.: Наука, 1965. – 188 с.
9. Афанасьева, О. В. Применение биопрепаратов ассоциативных diaзотрофов и минеральных удобрений при возделывании рапса / О.В. Афанасьева, В.С. Курсакова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 5(163). – С. 32-38.
10. Безуглова, О.С. Почвы Ростовской области / О.С. Безуглова, М.М. Хырхырова: учеб. пособие. - Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ. - 2008. - 352 с.
11. Белопухов, С.Л. К вопросу об извлечении химических элементов льном из почвы / С.Л. Белопухов, А.В. Фокин // Известия Тимирязевской с.-х. академии. – 2002. - №4. – С. 34-40.
12. Биопрепараты на посевах льна масличного: опыт и практика применения / И. М. Ханиева, И. В. Хакулов, А. Р. Саболиров, А. М. Батырова // Достижения и перспективы развития молодежной науки: сборник статей Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 25 декабря 2019 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2019. – С. 420-422.
13. Богук, А.М. Технология производства льна-долгунца в Беларуси / А.М. Богук, Д. Моррисон. – Жодино: БелНИИЗК, 1995. – 6 с
14. Брэй, С.М. Азотный обмен в растениях / С.М. Брэй. - М.: Агропромиздат, 1986. - 200 с.
15. Бутенко, Р.Г. Биология культивируемых клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе: монография / Р.Г. Бутенко –Москва: ФБК-Пресс, 1999 – 159 с.
16. Васильев, А.С. Влияние норм высева и биопрепаратов на продуктивность льна масличного в северной части Центрального Нечерноземья / А. С. Васильев, А. В. Диченский // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2018. – №3 (24) . – С. 38-44.

17. Ващенко, А.В. Удобрение гибридов подсолнечника разного срока сева на черноземе обыкновенном Нижнего Дона / А.В. Ващенко // Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – Саратов, 2021. – 24 с
18. Виноградов, Д.В. Возделывание льна масличного сорта Санлин в южной части Нечерноземной зоны России // Главный агроном. – 2014. – №10. – С. 16–18
19. Вихорева, Г.В. Сортоизучение льна масличного при разных уровнях азотного питания в условиях Верхневолжья / Г.В. Вихорева // Основные итоги научных исследований по сельскому хозяйству Центральном районе Нечерноземной зоны России. – М.: Немчиновка, 2001. - 151 с.
20. Влияние биоудобрений и регуляторов роста на урожайность подсолнечника / Л.П. Бельтюков, Г.М. Ситало, В.М. Мажара [и др.] // Вестник аграрной науки Дона. – 2017. – № 1-1(37). – С. 46-52.
21. Голуб, И.А. Эффективность применения минеральных форм удобрений на льне масличном / И.А. Голуб, Н.А. Сапего // Земледелие и растениеводство. – 2020 (5). - С. 47-50.
22. Дридигер, В.К. Лен масличный на Ставрополье: монография / В. К. Дридигер, А. Н. Есаулко, Г. Р. Дорожко. — Ставрополь: СтГАУ, 2013. — 148 с.
23. Дьяков, А. Б. Физиология и экология льна / А. Б. Дьяков. – ВНИИМК. – Краснодар, 2006. – 214 с
24. Емцев, В.Т. Микробиология: учебник для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. / В.Т. Емцев, Е.Н. Мишустин. - М.: Дрофа, 2005. – 221 с.
25. Есаулко, А.Н. Пути оптимизации систем удобрений в севооборотах Центрального Предкавказья: монография / А.Н. Есаулко. – Ставрополь: АГРУС, 2006. – 304 с.
26. Жамалова, Д.Б. Приемы возделывания льна масличного в условиях Северного Казахстана: диссертация ... кандидата сельскохозяйственных наук / Д.Б. Жамалова - Костанай, 2017. - 118 с.

27. Завалин А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай / Завалин А.А. – М.: ВНИИА, 2005. – 301 с.
28. Завалин, А.А. Вклад биологического азота бобовых культур в азотный баланс земледелия России / А.А. Завалин, Г.Г. Благовещенская, А.П. Кожемяков. - М.: Россельхозакадемия, 2007. - 44 с.
29. Завалин, А.А. Влияние минеральных удобрений и флавобактерина на урожайность кукурузы на чернозёме обыкновенном / А.А. Завалин, Л.Х. Азубеков, Т.Б. Шалов //Агрохимия. – 2002. - № 4. – С. 32-37.
30. Завалин, А.А. Новые технологии производства и применения биопрепаратов комплексного действия / А.А. Завалин, А.П. Кожемяков, О.А. Андреев, Ю.В. Лактионов и др. Под редакцией А.А. Завалина, А.П. Кожемякова. - Санкт-Петербург, 2010. – 64 с.
31. Завалин, А.А. Оптимизация минерального питания и продуктивности растений при использовании биопрепаратов и удобрений / А.А. Завалин // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. -№ 5. – С. 26-28.
32. Карамнова, Н.В. Управление технологиями / Н. В. Карамнова, В. М. Белоусов. – Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет, 2018. – 275 с.
33. Кидин, В.В. Агрохимия / В.В. Кидин, С.П. Торшин: учебник. - Москва.: Проспект, 2017. – 608 с.
34. Кидин, В.В. Система удобрения: учебник / В.В. Кидин. - М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. - 534 с.
35. Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 224 с.
36. Клещев Н.Ф. Агробиотехнология: Биологическая фиксация молекулярного азота: учеб. пособие. Харьков: НТУ «ХПИ», 2014. – 168 с.
37. Климат и агроклиматические ресурсы Ростовской области / Ю.П. Хрусталева, В.Н. Василенко, И.В. Свисюк, В.Д. Панов, Ю.А. Ларионов. – Ростов-на-Дону: Батайское книжное изд-во, 2002. – 184 с.

38. Коломейченко, В.В. Полевые и огородные культуры России. Зернобобовые и масличные: монография / В.В. Коломейченко. - 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 520 с.
39. Корнейкова, Ю.С. Агрономическая и экономическая эффективности совместного применения минеральных удобрений и регуляторов роста растений на льне масличном / Ю.С. Корнейкова, А.А. Ходянков // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – №1 (48). – С. 99-109.
40. Корнейкова, Ю.С. Влияние комплексного применения минеральных удобрений, регуляторов роста и биопрепаратов на урожайность и качество льна масличного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / Ю.С. Корнейкова, И.Р. Вильдфлуш // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 2(67). – С. 143-154.
41. Куанышкалиев, А.Т. Влияние различных доз минеральных удобрений на урожайность льна масличного в условиях Саратовского Правобережья / А.Т. Куанышкалиев // Агрохимия и экология: история и современность. – Всерос. науч.-исслед. ин-т агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2008. – Т.1. – С. 158–161.
42. Куанышкалиев, А.Т. Продуктивность льна масличного в зависимости от нормы высева, сроков посева и уровня минерального питания на черноземе южном Саратовского Правобережья / А.Т. Куанышкалиев // Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – Саратов, 2006. – 20 с.
43. Кузнецова, Г.Н. Оптимизация минерального питания льна масличного в южной лесостепи Западной Сибири / Г.Н. Кузнецова // Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – Омск, 2004. – 18 с.
44. Ларцев, Н.И. Возделывание масличных культур на Ставрополье / Н.И. Ларцев, Н.И. Перегудов. – Ставрополь: Ставр. кн. изд-во, 1955. – 108 с.
45. Лебедев, В.Н. Оценка эффективности инокуляции семян четырех видов горчиц ассоциативными азотфиксирующими штаммами ризобактерий / В.Н. Лебедев, Г.А. Ураев // Фундаментальные исследования. – 2015. - № 2. – С. 5594-5598.

46. Лен масличный – культура перспективная // В.М. Лукомец, В.Т. Пивень, Н.М. Тишков, Л.М. Захарова / Защита и карантин растений. – 2013. – № 2. – 80 (20) с.
47. Лошкомойников, И.А. Рекомендации по возделыванию льна масличного в Омской области / И.А. Лошкомойников, А.Н. Пузиков, А.К. Минжасова. – Искилькуль: Сибирская опытная станция ВНИИМК, 2011. – 16 с
48. Лукин, С.М. Влияние биопрепаратов ассоциативных азотфиксирующих микроорганизмов на урожайность сельскохозяйственных культур / С.М. Лукин, Е.В. Марчук // Достижения науки и техники. – 2011. - №8. – С. 18-21.
49. Лукомец, В.М. Научное обеспечение производства масличных культур в России / В.М. Лукомец. – Краснодар: Типография ООО «Просвещение-Юг», 2006. – 101 с.
50. Максимова, А.Я. Агротехника масличных культур./ А.Я. Максимова, С.А. Геворкян. - ОГИЗ: Сельхозгиз, 1944. - 207 с.
51. Милоста, Ю.Г. Влияние комплексных удобрений с добавками микроэлементов на динамику накопления биомассы растениями льна масличного по фазам его развития / Ю. Г. Милоста // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – №1 (46). – С. 182-192.
52. Минеев, В.Г. Химизация земледелия и природная среда / В.Г. Минеев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
53. Михайловская, Н.А. Диазотрофная бактериализация как перспективный биотехнологический прием при возделывании ячменя / Н.А. Михайловская, Н.Д. Волкова // Экологические приемы повышения урожайности сельскохозяйственных культур: материалы Междунар. конф. – Харьков, 1999. – С. 351–352.
54. Мишустин, Е.Н. Биологический азот в сельском хозяйстве СССР / Е.Н. Мишустин, Н.И. Черепков // Технология производства и эффективность применения бактериальных удобрений. – М., 1982. – С. 3-12.
55. Мищенко, Л. Особенности выращивания льна масличного// Мищенко, Л. / Олійно-жировий комплекс. - №2 – 2006. – С. 56

56. Музыкантов, П.Д. Эффективность отдельных видов минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры для почв Российской Федерации (нормативы) / П.Д. Музыкантов, Н.К. Панкова. – М.: ФГНУ «Росинформагротех». – 2003. – 387 с.
57. Насиев, Б.Н. Биологизированные технологии возделывания кормовых культур и сафлора в органической системе земледелия Западного Казахстана: монография / Б.Н. Насиев. - Уральск: ЗКАТУ им. Жангир хана, 2022. - 101 с.
58. Низамов, Р.М. Влияние биопрепаратов на посевные качества семян подсолнечника / Р.М. Низамов, С.Р. Сулейманов, Р.Б. Зиганшин / Совершенствование адаптивной системы земледелия. - Материалы Всероссийской научно-практ. конф. - Казань: Изд. Казанского ГАУ. - 2013 - С. 128-131.
59. Николаев, Е.В. Растениеводство Крыма / Под ред. Е.В. Николаева / Е.В. Николаев, А.М. Изотов, Б.А. Тарасенко. – Симферополь: Фактор, 2006. – 352 с.
60. Носевич, М. А. Влияние обработки семян перед посевом биопрепаратами на рост, развитие и урожайность льна масличного / М.А. Носевич, К.И. Беляева // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. – 2018. – №20. – С. 54-57.
61. Нужнов, И.В. Применение минеральных удобрений и бактериальных препаратов под лён масличный на черноземе южном / И.В. Нужнов // Инновации в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур: материалы международной научно-практической конференции. - пос. Персиановский : Донской ГАУ, 2016 г. – С. 54-57.
62. Оценка эффективности действия азотного удобрения при использовании Ризоагрина на яровой пшенице / А.А. Алферов, Л.С. Чернова, Н.Я. Шмырева, А.А. Завалин // Плодородие. - 2016. - № 6 (93). - С. 4-6.
63. Пархомюк, К.М. Продуктивность подсолнечника в зависимости от сроков посева и площади питания в богарных условиях Донбасса / К.М. Пархомюк // Бюллетень института кукурузы. – Днепропетровск, 1993 – № 77 – С. 113.

64. Пейве, Я.В. Руководство по применению удобрений / Я.В. Пейве. – М.: Сельхозиздат, 1963. – 224 с.
65. Петрова, С.Н. Микробные препараты как способ формирования эффективных растительно-микробных систем / С.Н. Петрова, Н.В. Парахин // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2013. – № 2 (6). – С. 86-91.
66. Применение diaзотрофных и фосфатмобилизующих бактериальных препаратов при возделывании основных сельскохозяйственных культур: рекомендации / сост. Т. Ф. Персикова [и др.] – Горки: БГСХА, 2003. – 28 с
67. Прудников, В.А. Влияние доз азотного удобрения на формирование урожая маслосемян новых сортов льна масличного / В.А. Прудников // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2016. — № 3. — С. 53-55.
68. Пукалова, Е.Н. Влияние различных форм и доз микроудобрений на накопление и вынос микроэлементов растениями льна масличного / Е.Н. Пукалова // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 182-190.
69. Пукалова, Е.Н. Эффективность применения микроудобрений при возделывании льна масличного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / Е.Н. Пукалова // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – №2 (57). – С. 99-106.
70. Разумнова, Л.А. Влияние минеральных удобрений и бактериальных препаратов на урожайность сафлора на темно-каштановых почвах Нижнего Дона / Л.А. Разумнова // Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. – Саратов, 2021. – 24 с.
71. Разумнова, Л.А. Эффективность применения минеральных удобрений и бактериальных препаратов при выращивании сафлора в зоне рискованного земледелия Ростовской области / Л. А. Разумнова, Р. А. Каменев, Е. Г. Баленко // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 4. – С. 23-27.
72. Реакция сортов ярового ячменя на применение микробиологических препаратов мизорин и ризоагрин/ И.С. Ганиева, М.А. Ланочкина, Н.В. Ильина, В.И. Блохин // Научное обеспечение агропромышленного комплекса России: Материалы всероссийской научно-практической конференции, посвя-

щенной памяти Р.Г. Гареева. – Казань: Центр инновационных технологий, 2012. – С. 175-180.

73. Резервы роста производства масличного сырья расти тельного происхождения в Республике Татарстан / С.Р. Сулейманов, Р.М. Низамов, Р.Б. Зиганшин, А.Н. Зяббаров // Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы. Труды международной научно-практической конференции. - Казань: Изд. Казанского ГАУ. - 2015 - С. 113-117.

74. Сапего, Н.А. Влияние дробного внесения азота и микроудобрений на семенную продуктивность льна масличного / Н.А. Сапего// Земледелие и селекция в Беларуси. - 2022;(58). - С. 118-124.

75. Скворцов, С.С. Продуктивность масличного льна в зависимости от применяемых стимуляторов роста и биопрепаратов / С.С. Скворцов // Перспективные технологии и приемы управления продуктивностью агроэкосистем на мелиорированных землях (к 95-летию Почвенного института): Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Тверь, 30 сентября 2022 года. – Тверь: Тверской государственный университет, 2022. – С. 130-135.

76. Смяян, Н.И. Пригодность почв БССР под основные сельскохозяйственные культуры / Н. И. Смяян. – Минск: Ураджай, 1980. – 175 с.

77. Сорокина, О.Ю. Минеральное питание льна масличного при использовании традиционных и новых органоминеральных удобрений / О.Ю. Сорокина // Масличные культуры. — 2018. — № 3 (175). — С. 46-51.

78. Справочник льновода / Н.Г. Коренский [и др.]; под ред. А. М. Старовойтова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: Ураджай, 1987. – 240 с.

79. Справочник по масличным культурам / З.Б. Борисоник, В.Г. Михайлов, Б.К. Погорлецкий и др.; Сост.: В.Г. Михайлов. - К.: Урожай, 1988. – 184 с.

80. Степанюк, В.В. Об источниках микроэлементной обеспеченности питания растений / В.В. Степанюк // Сельскохозяйственная биология. – 2001. – № 3. – С. 110 – 120.

81. Стратегическое значение диверсификации растениеводства / Н.В. Степных, Е.В. Нестерова, А.М. Заргарян, С.А. Копылова / Земледелие. – 2022. – № 2. – С. 7–13.
82. Сулейманов, С.Р. Влияние биопрепаратов на урожайность маслосемян подсолнечника / С.Р. Сулейманов, Р.М. Низамов // Зерновое хозяйство России. - 2014 - № 2(32). - С. 20-22.
83. Сулейменова, А.К. Возделывание льна масличного в Сибири / А.К. Сулейменова // International Agricultural Journal. – 2019. – Т. 62, № 4. – С. 17.
84. Сычев, В.Г. Влияние уровня минерального питания на величину и качество урожая льна масличного / В.Г. Сычев, В.П. Янишевский, О.Л. Янишевская // Плодородие. – 2011. – № 6. – С. 11–14
85. Тишков, М.Н. Совершенствование системы удобрения как элемента сортовой технологии возделывания льна масличного в условиях Северного Кавказа / Н.М. Тишков, А.С. Бушнев, И.И. Шуляу // Науч.-техн. бюл. ВНИИМК. – Краснодар, 2002. – Вып. 127 – С. 48-54.
86. Турина, Е.Л. Применение биопрепаратов при выращивании гороха, чины, чечевицы и сои для формирования высокопродуктивных агроценозов в Крыму / Е.Л. Турина, Р.А. Кулинич // Аграрная Россия. – 2015. - № 1. – С. 14-16.
87. Умаров, М.М. Азотфиксация в ассоциациях организмов / М.М. Умаров // Проблемы агрохимии и экологии. – 2009. – № 2. С. 22–26.
88. Умаров, М.М. Ассоциативная азотфиксация / М.М. Умаров. – М.: Наука, 1986. – 131с
89. Умаров, М.М. Микробиологическая трансформация азота в почве / М.М. Умаров, А.В. Кураков, А.Л. Степанов. - М.: ГЕОС. - 2007. - 138 с.
90. Ходянков, А. А. Эпикастастерон – новый отечественный регулятор роста для льна масличного / А.А. Ходянков // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – №2. – С. 154-157.
91. Хрусталева, Ю.П. Климат и агроклиматические ресурсы Ростовской области//Ю.П. Хрусталева, В.Н. Василенко, 2002. – 179 с.

92. Церлинг, В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справочник / В. В. Церлинг. – М., 1990. – 235 с.
93. Частное растениеводство: учебное пособие / составители В. А. Гущина, А. С. Лыкова. - Пенза: ПГАУ, 2017. - 294 с.
94. Чеботарь, В.К. Эффективность применения биопрепарата Экстрасол / В.К. Чеботарь, А.А. Завалин, Е.И. Кипрушкина. – Москва: ВНИИА, 2007. – 216 с.
95. Чумаков, М.И. Оценка эффективности взаимодействия *Agrobacterium radiobacter* 5Д-1 с пшеницей. Под ред. В.В. Игнатов. / М.И. Чумаков. - М.: Наука, 2005. - 260 с.
96. Шабаев, В.П. Роль биологического азота в системе «почва растение» при внесении ризосферных микроорганизмов, автореф. ... доктора биол. наук / В.П. Шабаев. – Москва, 2004. – 45 с.
97. Шамурзаев, Р. И. Научное обоснование повышения продуктивности и качества семян льна масличного в предгорье Кабардино-Балкарской Республики: дис. ... канд. с.-х. наук / Шамурзаев Рустам Ильясович. – Нальчик, 2011. – 141 с.
98. Шамурзаев, Р.И. Продуктивность и качество семян льна масличного в зависимости от уровня минерального питания / Р.И. Шамурзаев, М.Х. Ханиев // Аграрная наука. – 2009. – № 10. – С. 14-18.
99. Шанбанович, А.Ю. Эффективность использования регуляторов роста при возделывании льна масличного / А.Ю. Шанбанович // Стратегия и приоритеты развития земледелия и селекции полевых культур в Беларуси: материалы Международной научно-практической конференции. – Жодино, 2017. – С. 106-109.
100. Шанский, Ю.А. Агротехника высоких урожаев масличных культур (на юго-востоке). – М.: Россельхозиздат, 1966. – 138 с.
101. Шеуджен, А.Х. Агротехника / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Н.С. Котляров. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – 1075 с.

102. Шеуджен, А.Х. Система удобрения / Агрохимическая характеристика и климатические условия Северного Кавказа // А.Х. Шеуджен, Н.Н. Нецадим, Л.М. Онищенко. – Краснодар. - 2009. - 206 с.
103. Щерба, С.В. Методика полевого опыта с удобрениями / С.В. Щерба, Ф.А. Юдин // Агрохимические методы исследования почв. – М., 1975. – С. 526-584.
104. Эффективность применения микробных препаратов при инокуляции семян рапса ярового / И.М. Наумович, Я.Э. Пилюк, В.М. Белявский, Е.П. Решетник // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. - 2020. - № 1. - С. 102-105.
105. Эффективность применения регуляторов роста на посевах подсолнечника в условиях Кабардино-Балкарской Республики / К.З. Бербеков, А.Ю. Кишев, Н.И. Мамсиров, Т.Б. Жеруков // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. - 2018. - № 3. - С. 113-117.
106. Юдин, Ф.А. Методика агрохимических исследований / Ф.А. Юдин. - М.: Колос, 1980.- 366 с.
107. Ягодин, Б.А. Агрохимия: учебник для студентов высших учебных заведений по агрономическим специальностям /Под редакцией академика ВАСХНИЛ Б.А. Ягодина. - 2-е издание, переработанное и дополненное. - М.: Агропромиздат, 1989. - 639 с.
108. Ягодин, Б.А. Вариабельность микроэлементного состава семян основных масличных культур / Б.А. Ягодин, С.В. Торшин // Агрохимия. – 1992. – № 3. – С. 85 – 94.
109. Ясинская Л.И. Использование биоудобрения в технологии выращивания подсолнечника / Л.И. Ясинская, А.В. Кохан // Вестник Днепропетровского государственного аграрного университета. – 2008. - № 2. - С. 18-20.
110. Borkowski J., Dyki B., Niekraszewicz A., Struszczyk 11. Effect of the preparations Biochikol 020 PC, Tytanit, Biosept 33 SL and others on the healthiness of tomato plants and their fruiting in glasshouse. Progress on Chemistry and Applica-

tion of Chitin and Its Derivatives Monograph. 2004 X., H. Struszczyk (ed.). Polish Chitin Society, P. 167-173.

111. Burris, R.Y. // *J. Biol. Chem.*, 2003. P. 24-29.

112. Dart, P.J. Nitrogen fixation associated with non-legumes in agriculture / P.J. Dart // *Plant and Soil*. – 1986. – V.90. - №1-3. – P.303-334.

113. Delwiche, C.C. Non-symbiotic nitrogen fixation in soils / C.C. Delwiche, I. Wihler // *Plant and Soil*. – 1956. – V.7. - №2. – P.14-19.

114. Dobereiner, J. // *Isotop. Biol. Dinitrogen Fixat. Proc. Vienna, 1979*. P. 51-69.

115. Klemmedtsson, L. Dinitrogen and nitrous oxide produced by denitrification and nitrification in soil with and without barley plant / L. Klemmedtsson, B.H. Svensson, T. Rosswall // *Plant Soil*, 1987. – Vol. 99. – P. 303-319.

116. Rose, S. Efficacy of biological and chemical treatments for control of Fusarium root and stem rot on greenhouse cucumber. / S. Rose, M. Parker, Z.K. Punja // *Plant Disease* 2003. – 87 (12), - P.1462-1470.

117. Schneider, A. Short – term release and fixation of K in calcareous clay soils. Consequence for K buffer power prediction / A. Schneider // *Europ. J. Soil Sc.* - 1997. – Vol. 48. - №3. - P. 499-512.

118. Smith, R.L. The influence of shading on associative N₂-fixation / R.L. Smith, S.C. Schank, R.C. Litterll // *Plant and Soil*. – 1984. – V. 80. - № 1. – P. 45-52.

119. Van Dist, A. Soil and plant factors affecting potassium availability / Van Dist A. // *Soil testing, plant analysis and fertilizer evaluation for potassium*. Potash. Res. Inst. Of India Review Series 4. Proceed. group discus. (November 22-23, 1985). - New Delhi: Model Press Private Ltd., 1987. P. 157-166.

120. Vlassak, K. Agronomic aspects biological dinitrogen fixation by *Azospirillum* spp in temperate region // K. Vlassak, L. Reynders, // *Associative N₂ – Fixation*. – 1981. V.1. – P. 93-101.

121. Voss, R. Apply nitrogen this fall or wait until next spring? / R. Voss, R. Kilorn // *Wallaces Farmer*, 1984. - V.109. – №18. – p. 36-37.

122. Лён масличный продолжит рост [Электронный ресурс] / Сайт о льне и конопле [rosflaxhemp.ru](https://www.rosflaxhemp.ru). – 02.03.2022. – Режим доступа: <https://www.rosflaxhemp.ru>.
123. Посевная площадь льна масличного в Ростовской области [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://сельхозпортал.рф/>

Среднегодовая сумма осадков, температура воздуха
и относительная влажность воздуха (метеостанция пос. Маргаритово)

Месяцы	Температура воздуха, °С	Количество осад- ков, мм	Относительная влаж- ность воздуха, %
Сентябрь	16,3	46,0	64
Октябрь	9,4	31,9	74
Ноябрь	2,7	45,4	83
Декабрь	-0,7	67,6	88
Январь	-4,1	48,9	87
Февраль	-3,2	44,8	86
Март	1,8	42,9	82
Апрель	10,7	53,0	67
Май	16,6	56,9	62
Июнь	20,8	59,8	63
Июль	23,0	57,1	60
Август	22,0	44,4	59
Среднее	10,9	-	74
Сумма	-	520,8	-

Погодные условия в 2020-2021 сельскохозяйственном году (метеостанция пос. Маргаритово)

Месяцы	Среднемесячная температура возду- ха, °С	Количество осад- ков, мм	Относительная влажность воздуха, %
Сентябрь	+20,0	0,8	40,2
Октябрь	+14,9	25,8	61,0
Ноябрь	+3,6	45,7	71,0
Декабрь	-2,9	27,9	74,2
Январь	-0,9	74,9	77,1
Февраль	-2,0	27,2	67,1
Март	+2,1	97,5	67,1
Апрель	+10,1	65,8	69,8
Май	+18,1	48,4	61,6
Июнь	+21,9	56,3	67,3
Июль	+24,5	46,0	50,4
Август	+24,1	25,6	61,5
Среднее	13,4	-	76,8
Сумма	-	541,9	-

Приложение 3

Погодные условия в 2021-2022 сельскохозяйственном году (метеостанция пос. Маргаритово)

Месяцы	Среднемесячная температура воздуха, °С	Количество осадков, мм	Относительная влажность воздуха, %
Сентябрь	+16,6	46	67
Октябрь	+9,6	5	68
Ноябрь	+5,6	36	88
Декабрь	+2,1	102	91
Январь	-0,5	73	91
Февраль	+3,1	47	89
Март	+1,6	27	74
Апрель	+11,8	45	78
Май	+15,1	45	74
Июнь	+22,8	32	65
Июль	+24,3	34	62
Август	+26,6	62	55
Среднее	+11,6	-	75,2
Сумма	-	554	-

Приложение 4

Погодные условия в 2022-2023 сельскохозяйственном году (метеостанция пос. Маргаритово)

Месяцы	Среднемесячная температура воздуха, °С	Количество осадков, мм	Относительная влажность воздуха, %
Сентябрь	17,8	43	70,0
Октябрь	12,0	42	83,0
Ноябрь	6,1	47	90,0
Декабрь	0,8	48	87,0
Январь	-0,7	18	91,0
Февраль	-0,7	34	90,0
Март	6,9	31	86,0
Апрель	11,4	80	87,0
Май	16,0	82	84,0
Июнь	20,7	91	76,0
Июль	24,2	44	74,0
Август	25,9	14	64,0
Среднее	11,7	-	81,8
Сумма	-	574	-

Приложение 5

Содержание продуктивной влаги в почве под льном масленичным в 2021 г., мм

Слой почвы, см	Срок отбора			
	перед посевом 20.03.21.	фаза «ёлочка» 15.04.21.	цветение 28.05.21.	уборка 15.08.21.
0-20	43,5	36,7	23,6	17,3
20-40	47,7	33,8	24,4	15,7
40-60	36,4	35,4	25,0	12,1
60-80	36,0	34,4	23,1	8,3
80-100	39,8	26,9	14,0	10,0
0-60	117,6	95,9	63,0	25,1
0-100	203,4	167,2	110,1	63,4

Приложение 6

Содержание продуктивной влаги в почве под льном масличным в 2022 г., мм

Слой почвы, см	Срок отбора			
	перед посевом 25.03.22.	фаза «ёлочка» 22.04.22.	цветение 3.06.21.	уборка 8.08.22.
0-20	40,0	36,7	18,6	3,5
20-40	51,0	43,8	24,4	6,6
40-60	36,4	35,4	20,0	3,5
60-80	26,0	24,4	20,1	5,2
80-100	29,8	26,9	21,0	7,2
0-60	127,6	115,9	63,0	13,6
0-100	183,4	170,2	104,1	26,0

Приложение 7

Содержание продуктивной влаги в почве под льном масленичным в 2023 г., мм

Слой почвы, см	Срок отбора			
	перед посевом 30.03.23.	фаза «ёлочка» 27.04.23.	цветение 1.06.23.	уборка 31.09.23.
0-20	41,2	42,3	40,2	9,5
20-40	38,1	40,5	43,2	21,1
40-60	33,4	52,2	45,0	20,3
60-80	24,0	41,4	38,2	18,5
80-100	23,6	33,2	34,6	20,0
0-60	112,7	135,0	128,4	50,9
0-100	160,3	209,6	201,2	89,4

Динамика обменного калия в слое почвы 0-40 см в 2021 году, мг/кг

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «елочка»	цветение	полная спелость	
контроль	551	501	486	513
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	547	495	482	508
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	552	510	491	518
N ₄₅ P ₄₅	549	518	499	522
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	561	520	505	529
N ₆₀ P ₆₀	544	501	487	511
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	586	533	501	540
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	554	503	471	509
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	560	505	485	517
N ₄₅ P ₄₅	549	510	490	516
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	553	544	495	531
N ₆₀ P ₆₀	560	523	471	518
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	566	506	480	517
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	561	495	477	511
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	554	501	459	505
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	549	503	489	514
Мизорин	556	510	501	522
Экстрасол	551	501	486	513
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	556	504	479	513
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	560	510	485	518
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	552	520	510	527
НСР ₀₅	32	24	18	21

Динамика обменного калия в слое почвы 0-40 см в 2022 году, мг/кг

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «елочка»	цветение	полная спелость	
контроль	586	571	552	570
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	581	566	545	564
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	593	570	542	568
N ₄₅ P ₄₅	581	573	550	568
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	593	568	551	571
N ₆₀ P ₆₀	584	570	542	565
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	601	592	551	581
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	579	560	538	559
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	586	566	542	565
N ₄₅ P ₄₅	588	570	548	569
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	596	582	551	576
N ₆₀ P ₆₀	584	551	540	558
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	611	584	551	582
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	569	552	542	554
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	578	554	539	557
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	581	569	545	565
Мизорин	578	554	560	564
Экстрасол	586	571	552	570
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	589	570	560	573
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	590	581	552	574
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	575	570	562	569
НСР ₀₅	15	25	22	24

Динамика обменного калия в слое почвы 0-40 см в 2023 году, мг/кг

Варианты	Срок отбора			Среднее за вегетацию
	фаза «елочка»	цветение	полная спелость	
контроль	462	446	433	447
внесение весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	471	452	426	450
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	486	455	431	457
N ₄₅ P ₄₅	469	460	433	454
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	477	461	424	454
N ₆₀ P ₆₀	466	450	430	449
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	481	466	442	463
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию				
N ₃₀ P ₃₀	458	450	431	446
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	462	457	440	453
N ₄₅ P ₄₅	476	463	458	466
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	480	466	442	463
N ₆₀ P ₆₀	451	444	433	443
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	462	450	424	445
применение при посеве				
N ₃₀ P ₃₀	452	441	435	443
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	456	438	430	441
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве				
Флавобактерин	455	441	435	444
Мизорин	459	440	428	442
Экстрасол	462	437	430	443
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	470	456	435	454
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	460	452	431	448
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	466	451	440	452
НСР ₀₅	18	16	13	14

Содержание основных элементов питания в растениях льна масличного в 2021 году в фазу полной спелости, % абсолютно сухое вещество

Варианты	Маслосемена			Вегетативная масса		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
контроль	3,83	0,71	0,92	1,21	0,27	1,88
внесение весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	3,86	0,68	0,95	1,20	0,31	1,95
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	3,85	0,73	1,02	1,22	0,30	1,99
N ₄₅ P ₄₅	3,92	0,70	0,99	1,26	0,35	2,02
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	3,96	0,78	1,00	1,25	0,37	2,05
N ₆₀ P ₆₀	4,01	0,85	0,98	1,30	0,35	2,03
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,89	0,84	1,01	1,33	0,36	2,10
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	3,85	0,70	0,93	1,19	0,33	1,91
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	3,90	0,75	1,05	1,21	0,32	1,95
N ₄₅ P ₄₅	3,95	0,74	1,00	1,22	0,35	1,99
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	3,99	0,81	1,03	1,24	0,33	2,02
N ₆₀ P ₆₀	3,98	0,80	0,99	1,25	0,31	1,96
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,90	0,86	1,01	1,31	0,34	2,01
применение при посеве						
N ₃₀ P ₃₀	3,95	0,91	0,96	1,22	0,35	1,92
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	3,99	0,93	1,03	1,25	0,36	2,02
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве						
Флавобактерин	3,84	0,68	0,90	1,18	0,25	1,91
Мизорин	3,88	0,70	0,92	1,19	0,23	1,96
Экстрасол	3,90	0,71	0,95	1,20	0,25	1,92
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	3,86	0,88	0,96	1,21	0,33	2,02
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	3,90	0,86	0,99	1,20	0,36	1,95
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	3,92	0,91	0,93	1,23	0,33	2,00
НСР ₀₅	0,04	0,02	0,05	0,01	0,03	0,10

Содержание основных элементов питания в растениях льна масличного в 2022 году в фазу полной спелости, % абсолютно сухое вещество

Варианты	Маслосемена			Вегетативная масса		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
контроль	3,14	0,95	0,85	0,65	0,33	1,95
внесение весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	3,45	0,92	0,82	0,74	0,35	1,99
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	3,48	0,96	0,86	0,77	0,33	2,03
N ₄₅ P ₄₅	3,51	0,99	0,91	0,82	0,38	1,95
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	3,61	1,02	0,88	0,80	0,36	2,01
N ₆₀ P ₆₀	3,75	0,99	0,92	0,88	0,38	1,99
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,77	0,98	0,99	0,91	0,38	2,05
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	3,41	0,96	0,80	0,73	0,33	1,96
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	3,38	0,98	0,84	0,80	0,35	1,96
N ₄₅ P ₄₅	3,55	1,01	0,83	0,78	0,36	1,99
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	3,62	1,03	0,88	0,84	0,38	2,03
N ₆₀ P ₆₀	3,74	0,96	0,90	0,89	0,37	1,98
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,77	0,98	0,96	0,88	0,38	2,05
применение при посеве						
N ₃₀ P ₃₀	3,38	0,99	0,89	0,75	0,36	2,02
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	3,42	1,02	0,90	0,78	0,33	2,05
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве						
Флавобактерин	3,25	0,95	0,88	0,59	0,30	1,98
Мизорин	3,20	0,92	0,86	0,62	0,32	1,99
Экстрасол	3,31	0,93	0,90	0,65	0,33	2,00
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	3,35	1,03	0,88	0,81	0,38	2,00
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	3,38	0,95	0,91	0,84	0,36	2,06
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	3,40	0,99	0,90	0,79	0,38	2,03
НСР ₀₅	0,12	0,03	0,05	0,08	0,02	0,04

Содержание основных элементов питания в растениях льна масличного в 2023 году в фазу полной спелости, % абсолютно сухое вещество

Варианты	Маслосемена			Вегетативная масса		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
контроль	3,38	0,43	0,78	0,74	0,15	1,60
внесение весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	3,56	0,48	0,76	0,72	0,16	1,62
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	3,55	0,51	0,78	0,76	0,16	1,66
N ₄₅ P ₄₅	3,71	0,53	0,80	0,81	0,18	1,70
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	3,82	0,55	0,84	0,76	0,20	1,74
N ₆₀ P ₆₀	3,91	0,61	0,81	0,75	0,17	1,66
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,95	0,63	0,83	0,79	0,19	1,69
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию						
N ₃₀ P ₃₀	3,61	0,50	0,81	0,73	0,15	1,63
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	3,59	0,49	0,82	0,75	0,16	1,70
N ₄₅ P ₄₅	3,82	0,55	0,84	0,76	0,18	1,72
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	3,84	0,59	0,86	0,78	0,17	1,78
N ₆₀ P ₆₀	3,91	0,60	0,82	0,80	0,20	1,82
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,95	0,62	0,81	0,79	0,19	1,85
применение при посеве						
N ₃₀ P ₃₀	3,70	0,55	0,80	0,72	0,16	1,66
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	3,65	0,53	0,82	0,75	0,18	1,68
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве						
Флавобактерин	3,44	0,44	0,77	0,76	0,14	1,70
Мизорин	3,39	0,46	0,78	0,78	0,15	1,68
Экстрасол	3,42	0,45	0,81	0,72	0,14	1,72
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	3,66	0,51	0,78	0,75	0,17	1,81
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	3,78	0,55	0,81	0,79	0,16	1,85
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	3,74	0,56	0,84	0,80	0,17	1,82
НСР ₀₅	0,16	0,05	0,03	0,06	0,02	0,11

Структура урожайности льна масличного

Варианты	Количество растений, тыс. шт./га			Количество коробочек на 1 растении, шт.			Масса семян с 1 растения, г		
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
контроль	55325	48837	53344	16	11	13	31	23	26
внесение весной под культивацию									
N ₃₀ P ₃₀	55370	48848	53355	22	13	14	40	34	28
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	55388	48859	53360	21	14	14	39	33	29
N ₄₅ P ₄₅	55395	48871	53362	24	15	17	42	38	31
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	55402	48889	53381	25	16	16	41	37	32
N ₆₀ P ₆₀	55411	48890	53369	26	17	16	42	41	34
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	55444	48860	53381	28	18	16	40	39	34
внесение РК осенью под вспашку, азотных – весной под культивацию									
N ₃₀ P ₃₀	55342	48841	53340	20	13	14	36	35	28
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	55339	48855	53331	21	14	15	36	34	28
N ₄₅ P ₄₅	55341	48870	53329	21	16	16	38	38	30
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	55340	48876	53355	23	15	16	38	37	30
N ₆₀ P ₆₀	55342	48882	53363	23	18	16	40	40	32
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	55345	48893	53350	24	18	16	41	38	32
применение при посеве									
N ₃₀ P ₃₀	55360	48835	53340	26	14	16	45	36	31
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	55388	48861	53331	25	15	16	42	35	32
обработка семян биопрепаратами перед посевом и внесение минеральных удобрений при посеве									
Флавобактерин	55322	48830	53350	18	13	13	35	25	27
Мизорин	55329	48844	53345	18	13	14	34	24	28
Экстрасол	55321	48833	53340	20	14	14	36	25	28
Флавобактерин + N ₃₀ P ₃₀	55351	48844	53351	27	15	16	46	36	32
Мизорин + N ₃₀ P ₃₀	55355	48839	53348	25	16	16	44	37	34
Экстрасол + N ₃₀ P ₃₀	55353	48847	53344	25	16	17	43	39	35



А К Т

внедрения результатов научно-исследовательских работ
«3» октября 2023 г.

Мы, нижеподписавшиеся, представители Донского государственного аграрного университета профессор, доктор с.-х. наук Каменев Р.А., аспирант Аветисян Д.Р.,
(должность, фамилия, имя, отчество)

с одной стороны, и представитель ООО «Беркут» Мартыновского района Ростовской области _____

(наименование предприятия, учреждения, организации)

директор Блинов Дмитрий Юрьевич _____

(должность, фамилия, имя, отчество)

с другой стороны, составили настоящий акт в том, что в 2023 г.
(сроки внедрения)

в результате проведения научно-исследовательских работ по теме: «Применение минеральных удобрений и бактериальных препаратов при выращивании льна масличного» по соглашению от «15» февраля 2023 г.

на полях ООО «Беркут» в Мартыновском районе Ростовской области _____
(наименование предприятия, учреждения, организации)

внедрено применение минеральных удобрений и бактериального препарата Экстарсол на посевах льна масличного
(наименование процесса, машины, материала и др.)

В процессе внедрения выполнены следующие работы

На площади 25 и 44 га посевов льна в 2023 г. отобраны почвенные образцы, исследована обеспеченность растений доступными формами элементов питания, определено действие бактериального препарата Экстарсол и минеральных удобрений на урожайность льна масличного

От внедрения получен следующий технико-экономический эффект (в рублях и других показателях)

Применение минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{30}$ при посеве льна сорта Небесный увеличивало урожайность на 0,24 т/га или на 11,3%, дополнительный условно чистый доход с 1 га повысился на 6240 руб., уровень рентабельности увеличился по сравнению с контролем на 17%, себестоимость продукции снизилась на 0,11 руб./кг.

Применение для обработки семян перед посевом бакпрепарата Экстарсол на фоне применения минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{30}$ при выращивании льна масличного сорта Небесный увеличивало урожайность на 0,31 т/га или на 16,9%, дополнительный условно чистый доход с 1 га повысился на 7433 руб., уровень рентабельности увеличился по сравнению с контролем на 24%, себестоимость продукции снизилась на 0,11 руб./кг.

Предложения по дальнейшему внедрению результатов работ _____
Для повышения экономической эффективности возделывания льна масличного рекомен-
дуется внедрить применения бактериального препарата Экстрасол для обработки семян на
всей площади выращивания льна масличного, минеральные удобрения вносить в дозе
N₃₀P₃₀ согласно структуры посевных площадей хозяйства.

Акт составлен в 3 экземплярах:

1-й и 3-й экз. — ДонГАУ

2-й — заказчику

Представители ДонГАУ

Каменев (Каменев Р.А.)
Аветисян (Аветисян Д.Р.)

Представители заказчика ООО «Беркут»

Блинов (Блинов Д.Ю.)





А К Т

внедрения результатов научно-исследовательских работ
«25» сентября 2023 г.

Мы, нижеподписавшиеся, представители Донского государственного аграрного университета профессор, доктор с.-х. наук Каменев Р.А., аспирант Аветисян Д.Р.
(должность, фамилия, имя, отчество)

с одной стороны, и Индивидуальный Предприниматель Глава крестьянского (фермерского) хозяйства Дорошенко Р.И. Азовского района Ростовской области
(наименование предприятия, учреждения, организации)

ИП Глава К(Ф)Х Дорошенко Руслан Ильич
(должность, фамилия, имя, отчество)

с другой стороны, составили настоящий акт в том, что в 2023 году
(сроки внедрения)

в результате проведения научно-исследовательских работ по теме: «Применение минеральных удобрений и бактериальных препаратов под лён масличный на черноземе обыкновенном в условиях Нижнего Дона» по соглашению от «20» февраля 2023 года на полях ИП Глава К(Ф)Х Дорошенко Р.И. в Азовском районе Ростовской области
(наименование предприятия, организации, учреждения)

Внедрено применение микробиологического препарата Экстрасол и минеральных удобрений на посевах льна масличного на черноземе обыкновенном
(наименование процесса, машины, материала и др.)

В процессе внедрения выполнены следующие работы

На площади 32 и 40 га посевов льна масличного в 2023 г. отобраны почвенные образцы, исследована обеспеченность почвы доступными формами элементов питания для растений, определено действие бактериальных препаратов и минеральных удобрений на урожайность маслосемян льна

От внедрения получен следующий технико-экономический эффект (в рублях и других показателях) Применение припосевного внесения минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{30}$ при выращивании льна масличного сорта Небесный увеличивало урожайность маслосемян на 0,22 т/га или на 16,2%, дополнительный условно чистый доход с 1 га повысился на 5425 руб., уровень рентабельности увеличился по сравнению с контролем на 11,6%, себестоимость продукции снизилась на 0,11 руб./кг.

Применение бактериального препарата Экстрасол для обработки семян льна масличного перед посевом на фоне припосевного внесения минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{30}$ увеличивало урожайность семян льна на 0,31 т/га или на 18,4%, дополнительный условно чистый доход с 1 га повысился на 8220 руб., уровень рентабельности увеличился по сравнению с контролем на 15,5%, себестоимость продукции снизилась на 0,15 руб./кг.

Предложения по дальнейшему внедрению результатов работ _____
Для повышения экономической эффективности возделывания льна масличного
рекомендуется внедрить применения бактериального препарата Экстрасол для обработки
семян перед посевом, минеральные удобрения вносить при посеве в дозе N₃₀P₃₀ на всей
площади выращивания льна масличного, согласно структуры посевных площадей
хозяйства.

Акт составлен в 3 экземплярах:

1-й и 3-й экз. — ДонГАУ

2-й — заказчику

Представители ДонГАУ

Каменев Р.А. (Каменев Р.А.)
Аветисян Д.Р. (Аветисян Д.Р.)

Представители заказчика

Дорошенко Р.И. (Дорошенко Р.И.)



Результаты дисперсионного анализа урожайности маслосемян льна в 2021 году, т/га

1,69 2,18 2,18 2,28 2,24 2,33 2,23 1,98 2,13 2,15 2,11 2,16 2,30 2,51 2,27 2,05 2,06 2,06 2,52 2,38 2,33
 1,77 2,25 2,13 2,33 2,31 2,41 2,29 2,08 2,14 2,14 2,07 2,25 2,21 2,40 2,34 1,86 2,08 1,98 2,41 2,45 2,41
 1,73 2,20 2,14 2,29 2,23 2,31 2,17 1,97 1,73 2,07 2,09 2,22 2,24 2,50 2,32 1,85 1,44 1,99 2,63 2,40 2,34

Корректирующий фактор	299,27			Fф	Fт
Общее варьирование	3,00	62			
Варьирование повторностей	0,06	2			
Варьирование вариантов	2,51	20	0,13	11,67	4,11
Остаточное варьирование	0,43	40	0,01		
		НСР ₀₅	0,18		

Результаты дисперсионного анализа урожайности маслосемян льна в 2022 году, т/га

1,07 1,58 1,63 1,92 1,80 1,95 1,79 1,75 1,71 1,89 1,89 1,92 1,89 1,71 1,66 1,22 1,15 1,21 1,72 1,80 1,92
 1,15 1,71 1,57 1,81 1,86 2,01 1,88 1,66 1,66 1,84 1,84 1,85 1,82 1,81 1,74 1,25 1,21 1,18 1,81 1,85 1,85
 1,14 1,69 1,60 1,82 1,83 2,01 2,00 1,69 1,58 1,91 1,73 2,05 1,93 1,73 1,70 1,22 1,18 1,21 1,69 1,81 1,90

Корректирующий фактор	178,21			Fф	Fт
Общее варьирование	4,44	62			
Варьирование повторностей	0,00	2			
Варьирование вариантов	4,31	20	0,22	67,88	4,11
Остаточное варьирование	0,13	40	0,00		
		НСР ₀₅	0,10		

Результаты дисперсионного анализа урожайности маслосемян льна в 2023 году, т/га

1,31 1,49 1,55 1,62 1,68 1,81 1,77 1,51 1,48 1,62 1,62 1,66 1,70 1,66 1,71 1,62 1,45 1,55 1,75 1,77 1,90
 1,41 1,52 1,49 1,71 1,71 1,86 1,82 1,45 1,52 1,69 1,58 1,74 1,75 1,60 1,75 1,44 1,51 1,60 1,81 1,82 1,86
 1,39 1,52 1,55 1,65 1,71 1,85 1,81 1,48 1,53 1,49 1,66 1,70 1,74 1,69 1,64 1,32 1,48 1,35 1,57 1,78 1,79

Корректирующий фактор	166,99			Fф	Fт
Общее варьирование	1,31	62			
Варьирование повторностей	0,02	2			
Варьирование вариантов	1,13	20	0,06	14,31	4,11
Остаточное варьирование	0,16	40	0,00		
		НСР ₀₅	0,11		

Результаты дисперсионного анализа урожайности маслосемян льна в 2021-2023 году, т/га

Корректирующий фактор	210,98			Fф	Fт
Общее варьирование	6,53	62			
Варьирование повторностей	3,88	2			
Варьирование вариантов	2,14	20	0,11	8,30	4,11
Остаточное варьирование	0,51	40	0,01		
		НСР ₀₅	0,20		

Результаты дисперсионного анализа масличности льна в 2021 году, %

40,544,2 41,6 44,5 42,5 43,5 42,1 42,0 40,5 42,4 43,1 41,8 41,5 46,0 43,5 40,5 42,0 41,3 44,5 44,2 44,1
 40,0 43,2 43,2 46,2 44,1 45,1 42,6 43,0 42,0 44,0 42,5 42,2 40,6 45,5 44,0 41,1 41,5 42,4 44,1 44,2 43,2
 40,1 42,2 45,8 43,6 44,6 42,5 41,6 40,5 43,8 41,9 42,3 41,5 46,5 46,9 41,4 41,9 43,5 43,7 43,6 43,6 42,6

Корректирующий фактор	116048,81			F _ф	F _т
Общее варьирование	164,02	62			
Варьирование повторностей	1,86	2			
Варьирование вариантов	138,82	20	6,94	11,90	4,11
Остаточное варьирование	23,34	40	0,58		
		НСР ₀₅	1,33		

Результаты дисперсионного анализа масличности льна в 2022 году, %

41,0 45,0 42,2 45,0 44,0 43,1 42,1 44,3 44,1 44,1 43,1 44,1 43,3 44,3 42,6 42,8 42,0 43,2 45,0 44,2 46,6
 43,0 44,2 43,2 46,2 43,0 44,0 42,6 43,2 42,3 44,0 44,0 42,2 42,1 42,2 42,1 44,0 42,0 43,2 44,5 44,2 43,0
 42,9 43,1 44,2 44,4 46,2 42,8 41,6 44,5 43,5 45,1 44,3 43,6 43,9 41,2 43,1 44,2 44,2 44,7 44,6 46,1 47,2 45,4

Корректирующий фактор	120756,62			F _ф	F _т
Общее варьирование	103,54	62			
Варьирование повторностей	4,38	2			
Варьирование вариантов	55,12	20	2,76	6,50	4,11
Остаточное варьирование	44,04	40	1,10		
		НСР ₀₅	1,83		

Результаты дисперсионного анализа масличности льна в 2023 году, %

41,0 40,6 41,6 43,5 42,3 42,4 41,8 41,3 42,5 42,2 42,3 40,5 42,3 41,8 42,1 42,6 41,5 43,1 41,5
 42,0 42,1 42,0 43,1 43,5 42,0 41,0 43,1 43,0 43,0 42,5 43,1 44,1 42,5 43,1 44,1 42,5 44,1 43,0 42,1 43,0
 39,7 40,6 41,2 42,1 43,5 42,8 41,0 40,9 42,2 41,3 42,3 40,7 42,4 41,7 40,8 41,2 42,0 41,1 43,1 42,2

Корректирующий фактор	111510,32			F _ф	F _т
Общее варьирование	58,25	62			
Варьирование повторностей	12,49	2			
Варьирование вариантов	20,47	20	1,02	11,62	4,11
Остаточное варьирование	25,29	40	0,63		
		НСР ₀₅	1,39		

Результаты дисперсионного анализа масличности льна в 2021-2023 году, %

Корректирующий фактор	116074,57			F _ф	F _т
Общее варьирование	102,15	62			
Варьирование повторностей	30,69	2			
Варьирование вариантов	44,97	20	2,25	4,40	4,11
Остаточное варьирование	26,49	40	0,66		
		НСР ₀₅	1,42		

Результаты дисперсионного анализа сбора масла в 2021 году, кг/га

685 962 905 1051 978 1026 952 840 805 925 884 923 924 1125 1042 769 771 862 1120 1042
1011

701 955 920 1045 992 1046 941 863 823 916 892 935 932 1152 1029 792 789 841 1125 1085
1029

699 948 911 1045 973 1057 945 841 832 919 888 932 925 1131 1034 800 771 853 1088 1053
1026

Корректирующий фактор	55396409,14			Fф	Fт
Общее варьирование	804870,86	62			
Варьирование повторностей	993,43	2			
Варьирование вариантов	799392,86	20	39969,64	356,51	4,11
Остаточное варьирование	4484,57	40	112,11		
			HCP ₀₅	18,50	

Результаты дисперсионного анализа сбора масла в 2022 году, кг/га

476 724 684 842 810 874 784 732 705 840 810 851 785 781 752 505 512 544 769 823 845

462 751 702 833 822 851 801 755 722 851 795 833 801 782 733 532 505 529 790 825 869

484 721 687 833 807 861 803 757 715 814 786 842 793 762 738 511 516 553 796 797 866

Корректирующий фактор	34224069,14			Fф	Fт
Общее варьирование	896700,86	62			
Варьирование повторностей	312,00	2			
Варьирование вариантов	890780,86	20	44539,04	317,68	4,11
Остаточное варьирование	5608,00	40	140,20		
			HCP ₀₅	20,69	

Результаты дисперсионного анализа сбора масла в 2023 году, кг/га

548 632 610 701 726 768 754 615 644 670 679 733 716 695 705 610 630 630 732 751 786

566 610 640 722 740 789 750 605 628 681 695 715 711 710 624 625 632 728 744 756 801

566 621 658 713 733 783 758 619 627 674 693 721 725 694 721 611 632 625 715 728 795

Корректирующий фактор	29610515,5			Fф	Fт
Общее варьирование	239713,43	62			
Варьирование повторностей	298,9	2			
Варьирование вариантов	235707,4	20	11785,37	127,17	4,11
Остаточное варьирование	3707,05	40	92,68		
			HCP ₀₅	16,82	

Результаты дисперсионного анализа сбора масла в 2021-2023 году, кг/га

Корректирующий фактор	38998214,1			Fф	Fт
Общее варьирование	1387410,89	62			
Варьирование повторностей	745450,51	2			
Варьирование вариантов	510359,56	20	25517,98	7,76	4,11
Остаточное варьирование	131600,83	40	3290,02		
		HCP ₀₅	30,22		

Результаты дисперсионного анализа урожайности вегетативной массы (соломы) льна в 2021 году, т/га

4,87 5,41 5,52 5,65 5,79 5,75 5,84 5,21 5,23 5,51 5,51 5,81 5,89 5,32 5,51 5,10 5,02 5,06
5,51 5,51 5,41
5,10 5,35 5,63 5,52 5,72 5,86 5,77 5,26 5,32 5,42 5,62 5,75 6,02 5,45 5,62 5,05 5,10 5,18
5,50 5,42 5,55
5,09 5,32 5,38 5,60 5,89 5,52 6,03 5,22 5,35 5,39 5,61 5,69 5,82 5,43 5,52 5,12 5,03 5,12
5,35 5,48 5,54

Корректирующий фактор	1879,88			Fф	Fт
Общее варьирование	4,48	62			
Варьирование повторностей	0,02	2			
Варьирование вариантов	4,17	20	0,21	29,11	4,11
Остаточное варьирование	0,29	40	0,01		
		HCP ₀₅	0,15		

Результаты дисперсионного анализа урожайности вегетативной массы (соломы) льна в 2022 году, т/га

4,01 4,40 4,45 4,62 4,84 4,70 4,81 4,45 4,40 4,56 4,66 4,65 4,95 4,41 4,51 4,05 4,15 4,12 4,40
4,50 4,33
4,10 4,26 4,50 4,45 4,66 4,66 4,89 4,33 4,51 4,38 4,77 4,71 4,84 4,32 4,44 4,18 4,06 4,25
4,40 4,42
4,04 4,42 4,55 4,52 4,63 4,59 4,79 4,42 4,53 4,62 4,46 4,74 4,91 4,41 4,52 4,22 4,09 4,30 4,34
4,30 4,42

Корректирующий фактор	1256,21			Fф	Fт
Общее варьирование	3,29	62			
Варьирование повторностей	0,00	2			
Варьирование вариантов	3,03	20	0,15	23,89	4,11
Остаточное варьирование	0,25	40	0,01		
		HCP ₀₅	0,14		

Результаты дисперсионного анализа урожайности вегетативной массы (соломы) льна в 2023 году, т/га

4,91 5,05 5,20 5,18 5,40 5,66 5,59 5,03 5,05 5,28 5,37 5,45 5,61 5,12 5,28 5,05 5,10 5,03 5,32 5,23 5,27

4,78 4,89 5,07 5,25 5,37 5,48 5,71 4,92 5,01 5,15 5,40 5,37 5,51 5,16 5,40 5,02 5,15 5,15 5,25 5,18 5,51

4,83 5,12 5,18 5,20 5,28 5,51 5,80 4,99 5,24 5,23 5,28 5,41 5,56 5,17 5,25 4,99 5,02 5,06 5,21 5,49 5,42

Корректирующий фактор	1730,14			Fф	Fт
Общее варьирование	3,00	62			
Варьирование повторностей	0,01	2			
Варьирование вариантов	2,72	20	0,14	19,85	4,11
Остаточное варьирование	0,27	40	0,01		
		НСР ₀₅	0,14		

Результаты дисперсионного анализа урожайности вегетативной массы (соломы) льна в 2021-2023 гг., т/га

Корректирующий фактор	1619,21			Fф	Fт
Общее варьирование	15,81	62			
Варьирование повторностей	12,02	2			
Варьирование вариантов	3,05	20	0,15	8,28	4,11
Остаточное варьирование	0,74	40	0,02		
		НСР ₀₅	0,24		