

УДК 631.8:633.313

БОРИСОВА
Вилена Борисовна

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ И ИНОКУЛЯЦИИ
СЕМЯН БИОПРЕПАРАТОМ КЛУБЕНЬКОВЫХ БАКТЕРИЙ
ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЛЮЦЕРНЫ СЕРПОВИДНОЙ НА МЕРЗЛОТНОЙ
ТАЕЖНОЙ ПАЛЕВОЙ ПОЧВЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ**

Специальность 4.1.3 Агрохимия, агропочвоведение,
защита и карантин растений

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Москва 2023

Работа выполнена в ФГБНУ «Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова» – обособленного подразделения ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения РАН» и ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

Научный руководитель: **Мерзлая Генриэта Егоровна,** доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ.

Официальные оппоненты: **Лазарев Николай Николаевич,** доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет МСХА имени К.А. Тимирязева», кафедра растениеводства и луговых экосистем, профессор.

Гусаров Игорь Владимирович, кандидат биологических наук, Северо-Западный научно-исследовательский институт молочного и лугопастбищного хозяйства имени А.С. Емельянова – обособленное подразделение ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук», отдел кормов и кормления сельскохозяйственных животных, заведующий.

Ведущая организация: Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса.

Защита диссертации состоится «14» декабря 2023 г. в 13.00 час. на заседании диссертационного совета 24.1.006.01 при ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке при ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» и на сайте: https://www.vniia-pr.ru/upload/iblock/7ef/6bi2n309hryc232itwnwc15zdmfj96t/borisova_diss_26_09_2023.pdf

Автореферат разослан «_____» _____ 2023 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31 а, учёному секретарю диссертационного совета, e-mail: dissovet_vniia@mail.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета

Никитина Любовь Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В биологизации земледелия особое место занимают бобовые культуры, которые способны создавать биологический азот за счет своего симбиотического аппарата (Кутузова, 1975; Трепачев, 1976; Атласова и др., 2018; Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса..., 2021). Исследование эффективных приемов возделывания бобовых культур, прежде всего люцерны, имеет важное значение в условиях мерзлотных почв, в которых симбиотический аппарат растений развивается замедленными темпами (Абрамов, 2000; Денисов, Стрельцова, 2000; Становление и зрелость сельскохозяйственной науки Якутии ..., 2000). При достаточно хорошей изученности агротехнических особенностей бобовых культур отдельные элементы технологий требуют уточнения. К недостаточно решенным вопросам, в частности, относится применение под бобовые культуры удобрений, в первую очередь азотных (Кормопроизводство, 2006; Дегунова и др., 2011; 2013; 2014; Кидин, 2012; Сычев, Соколов, Завалин, Шмырева, 2017; Шкуркин, Шафран, Налиухин, 2021; Госпрограмма развития сельского хозяйства, 2020). В настоящее время вопросы разработки эффективных систем удобрения под бобовые растения, в том числе под люцерну серповидную, актуальны и для условий мерзлотных таежных палевых почв Якутии.

Цель и задачи исследований. Цель исследований заключалась в научном обосновании формирования высокопродуктивных травостоев люцерны серповидной сорта Якутская желтая, обеспечивающих получение ценных кормов, при оптимизации доз и сочетаний азотных, фосфорных, калийных минеральных удобрений и применении биопрепарата клубеньковых бактерий *Sinorhizobium meliloti* в условиях мерзлотной таежной палевой почвы Центральной Якутии.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- изучить влияние различных доз и сочетаний азотных, фосфорных, калийных минеральных удобрений и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий на урожайность люцерны серповидной Якутской желтой;

- оценить влияние минеральных удобрений разной интенсивности и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий на симбиотический аппарат люцерны серповидной сорта Якутская желтая;
- определить влияние различных доз и сочетаний азотных, фосфорных, калийных минеральных удобрений и инокуляции семян биопрепаратом на качество сена люцерны серповидной Якутской желтой по содержанию сырого протеина, клетчатки и других органических веществ, а также фосфора, калия, кальция;
- установить действие различных доз и сочетаний азотных, фосфорных, калийных минеральных удобрений и биопрепарата на основе клубеньковых бактерий на агрохимические свойства почвы;
- определить агроэкономическую и агроэнергетическую эффективность исследуемых приемов при возделывании люцерны серповидной в условиях Центральной Якутии.

Научная новизна исследований. Впервые в условиях мерзлотной таежной палевой почвы в Центральной Якутии на основании данных полевого опыта при возделывании новой для республики кормовой культуры – люцерны серповидной сорта Якутская желтая выявлены закономерности действия различных доз и сочетаний азотных, фосфорных, калийных минеральных удобрений, а также биопрепарата на основе клубеньковых бактерий в системе почва-растение, установлено их положительное влияние при оптимизации исследуемых факторов на продуктивность и даны предложения производству по эффективному применению средств химизации.

Показано, что внесение минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{30}$ обеспечивает наибольшую в условиях опыта урожайность сена люцерны серповидной, составляющую в среднем за 3 года исследований 7,3 т/га, что достоверно, на 1,8 т/га, или на 32,7%, выше контроля без удобрений. Сено люцерны при этом характеризуется высоким кормовым достоинством с содержанием 15,5% сырого протеина, 2,6% сырого жира, 6,1% сырой золы, 0,32% фосфора, 1,6% калия, 1,9% кальция, что соответствует отечественным нормам кормления сельскохозяйственных животных.

Урожайность люцерны серповидной высокого качества на уровне 6,5 т/га сена при прибавке к контролю 18,2% отмечена в варианте инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий, а также при внесении $N_{30}P_{60}K_{60}$, а на уровне 6,6 т/га сена и прибавке 20% – в варианте фосфорно-калийных удобрений в дозах $P_{60}K_{60}$.

Практическая значимость работы. В результате научных исследований в полевом опыте, проведенном в условиях Центральной Якутии на мерзлотной таежной палевой почве, разработаны и рекомендованы технологические приемы возделывания люцерны серповидной сорта Якутская желтая, включающие оптимизацию сочетаний и доз минеральных удобрений и использование инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. В полевом опыте, заложенном на мерзлотной таежной палевой почве в Центральной Якутии и проведенном в течение 3 лет (2019, 2020, 2022 гг.), установлены закономерности действия минеральных азотных, фосфорных, калийных удобрений в различных дозах и сочетаниях, а также биопрепарата на основе клубеньковых бактерий на продуктивность люцерны серповидной сорта Якутская желтая. По данным исследований, при возделывании люцерны серповидной наибольшая эффективность обеспечивалась при внесении минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{30}$, где урожайность сена в среднем за годы исследований составляла 3,7 т/га, что на 32,7% превышало контроль без удобрений.

2. Удобрения и инокуляция семян люцерны Якутской желтой биопрепаратом клубеньковых бактерий положительно влияли на качество растительной продукции по таким показателям, как содержание сырого протеина, жира, золы, углеводов, фосфора, калия, кальция. В варианте применения минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{30}$, где достигнута максимальная ее продуктивность, обеспечивалось получение растительной продукции высокого кормового достоинства с выходом сырого протеина с 1 га в размере 574 кг.

3. На основании химического анализа почвенных проб в годы опыта (2019, 2020, 2022 гг.) установлено, что минеральные удобрения в эффективных

дозах и сочетаниях и инокуляция семян люцерны серповидной являются положительным фактором улучшения агрохимических свойств мерзлотной таежной палевой почвы, оптимизации азотного, фосфатного и калийного режимов, стабилизации реакции почвенной среды.

4. Возделывание люцерны серповидной при оптимизации минерального питания за счет агроприемов позволяет достичь высокой экономической и энергетической эффективности. При этом наибольший эффект получен в варианте полного минерального удобрения в дозах $N_{60}P_{60}K_{30}$, где окупаемость 1 руб. дополнительных затрат составляла 5,97 руб. энергетический коэффициент при дополнительном сборе обменной энергии 39,19 ГДж/га находился на уровне 18,9.

Степень достоверности и апробация результатов. Научные исследования проведены в полевом опыте в течение трех лет (2019, 2020, 2022 гг.) при соблюдении методик и статистических приемов обработки опытных данных. Материалы диссертационной работы обсуждены и доложены на заседаниях Ученого совета Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова (ЯНИИСХ) (2018-2022); Международной конференции «*Emerging threats for human health imoact of socioeconomic and climate change on zoonotic diseases*» (Якутск, 13 августа 2018 г.); XX Международной научно-практической конференции: «Аграрная наука сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии» (Улан-Батор, Монголия, 20-21 сентября 2018 г.); 54-й Всероссийской с международным участием школе-конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов «Проблемы и перспективы развития современной агрохимии» ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» (Москва, 26-27 ноября 2020 г.); научной конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «XXIV Лаврентьевские чтения» (Якутск, 25-29 апреля 2022 г.); «IX Сибирские Прянишниковские агрохимические чтения» (Красноярск, 20-22 июля 2022 г.); XVI Республиканской научно-практической конференции «Интеллектуальный потенциал молодежи – селу XXI века» (Якутск, 14-15 ноября 2022 г.); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием,

посвященной 100-летию образования Якутской АССР и 85-летию Первого президента РС(Я) М. Е. Николаева (Николаевские чтения), 17 ноября 2022; IV молодежной конференции ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» (Якутск, 9 декабря 2022 г.).

Публикация результатов исследований. По материалам исследований опубликовано 6 работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, 7 глав, заключения, предложений производству, направлений дальнейших исследований, списка литературы, включающего 162 источника, в том числе 18 на иностранных языках, содержит 16 таблиц, 10 рисунков и 21 приложение. Общий объем работы составляет 121 страницу компьютерного текста.

Личный вклад автора. Соискатель лично принимала участие в проведении полевых и лабораторных работ по теме диссертации. Самостоятельно подготовила литературный обзор, выполнила анализ и обобщение экспериментальных материалов, математическую обработку опытных данных, провела агроэкономическую и энергетическую оценку эффективности использования агрохимических средств при возделывании люцерны серповидной в условиях Центральной Якутии.

Основная часть научного исследования выполнена в лаборатории картофелеводства и агроэкологии ФГБНУ «Якутский НИИ сельского хозяйства» имени М.Г. Сафронова». Отдельные научные исследования проведены в лаборатории агрохимии органических, известковых удобрений и химической мелиорации ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» по теме «Разработать на основе цифровых технологий научные основы и информационно-аналитическую систему управления продуктивностью агроэкосистем и плодородием почв Нечерноземной зоны с учетом биологизированных и минеральных систем земледелия разной степени интенсивности для увеличения производства экологически безопасной растениеводческой продукции заданного количества и качества в динамических условиях изменяющегося климата»(FGWR-2021-0002).

Благодарности. Автор выражает большую благодарность доктору сельскохозяйственных наук Степанову Айаалу Ивановичу за помощь и ценные советы в проведении полевого опыта по теме диссертации, глубоко признателен своему научному руководителю – доктору сельскохозяйственных наук, профессору, заслуженному деятелю науки РФ Мерзлой Генриэте Егоровне за руководство диссертационной работой и ценные замечания и предложения. Автор благодарит также сотрудников Якутского НИИ сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова за помощь в проведении полевых исследований в 2018-2022 гг. и всех сотрудников ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова за помощь в подготовке работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Объекты, условия и методы исследований

Для выявления влияния минеральных удобрений и биопрепарата клубеньковых бактерий на урожайность люцерны серповидной был заложен полевой опыт в 2018 г. на мерзлотной таежной палевой почве в Хангаласском улусе Якутии.

Исследования проводились на научном стационаре «Бэлэнтэй» ФГБНУ «Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова», начиная с 2018 г. Данные по урожайности и качеству люцерны серповидной, по агрохимическим свойствам почвы приведены за 2019, 2020 и 2022 гг.

По морфологическому описанию почва опытного участка мерзлотная таежная палевая, старопахотная, по гранулометрическому составу среднесуглинистая.

Перед закладкой опытов почва в пахотном слое имела следующую агрохимическую характеристику: $pH_{\text{водн}}$ 8,6, $pH_{\text{кcl}}$ 7,6, содержание гумуса – 2,74%, подвижного фосфора (P_2O_5) и обменного калия (K_2O) (по Эгнеру-Риму) соответственно 170 мг/кг и 282 мг/кг, содержание нитратного азота 1,4 мг/кг, общего азота 0,35 %.

Объектами исследований являются люцерна серповидная, биопрепарат клубеньковых бактерий *Sinorhizobium meliloti*, минеральные азотные, фосфорные и калийные удобрения.

Биопрепарат был создан и депонирован у сорта люцерны Якутская желтая в 1999 г. в ФГБНУ «ЯНИИСХ».

Учеты и наблюдения выполнялись согласно общепринятым методикам и рекомендациям (Программа и методика ..., 2011). Учет урожая люцерны проводили укосным методом. Математическая обработка опытных данных проведена по Б.А. Доспехову (1985). Анализы почвенных образцов выполнены общепринятыми методами (Агрохимические методы исследования почв, растений и удобрений, 1975). Массовая доля азота определена по методу Кьельдаля (ГОСТ Р 51417 – 99), содержание фосфора по ГОСТ 26657 – 97, калия по ГОСТ 30504 – 97.

Симбиотический потенциал люцерны определяли по Г.С. Посыпанову («Методические аспекты изучения симбиотического аппарата бобовых культур в полевых условиях», 1983). Почвенные образцы отбирали по всем вариантам полевого опыта перед его закладкой в 2018 г., а также в годы проведения исследований. Анализы почвы и растений проведены в лаборатории переработки сельскохозяйственной продукции и биохимических анализов ЯНИИ сельского хозяйства и лаборатории агрохимслужбы.

Общая площадь опытной деланки 39,8 м², учетная площадь – 25 м². Общая площадь опыта – 3667,5 м². Размещение вариантов последовательное со смещением. Повторность вариантов четырехкратная. Способ посева люцерны серповидной – широкорядный с расстоянием между рядками 30 см. Норма высева семян люцерны серповидной 6 кг/га.

Минеральные удобрения согласно схеме опыта внесены в 2018 г. перед посевом люцерны.

Доза биопрепарата 200 г в расчете на гектарную норму семян (по рекомендациям ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии и Якутского НИИ сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова).

Агрометеорологические условия в годы проведения исследований

Погодные условия за годы исследований были различными по температурному режиму и влагообеспеченности почвы. В 2018 г. и 2019 г. температура воздуха была близкой к среднемноголетней, в 2020 г. наблюдалось повышение температуры в июне и июле, но август оказался прохладнее, чем в остальные годы исследований. Вегетационный период 2022 г. выдался очень жарким, июнь начался с высоких температур. Эта жара продолжилась в июле и августе. Количество осадков за 2018 г. и 2019 г. превышало среднемноголетние данные. 2020 г. характеризовался значительно более низкими значениями суммы осадков за вегетационный период. В 2022 г. наблюдалось значительное превышение суммы осадков по сравнению со среднемноголетними данными. В целом метеоусловия вегетационных периодов 2018-2022 гг. были благоприятными для роста и развития растений люцерны серповидной.

Влияние доз и сочетаний азотных, фосфорных, калийных минеральных удобрений и инокуляции семян на урожайность сена люцерны серповидной

Согласно проведенным исследованиям (табл. 1, рис. 1-4), минеральные удобрения и инокуляция семян биопрепаратом клубеньковых бактерий оказали неоднозначное влияние на урожайность сена люцерны серповидной сорта Якутская желтая. Так, внесение азотных минеральных удобрений в возрастающих дозах (N_{30} , N_{60} , N_{90}) на фоне $P_{60}K_{60}$ при возделывании люцерны серповидной на мерзлотной почве было малоэффективным в первые годы опыта на травостое второго и третьего годов жизни. Однако в последний год исследований (2022 г.) ее урожайность повысилась при получении достоверных прибавок урожая по отношению к контролю.

Табл. 1. Урожайность сена люцерны серповидной, в среднем за годы исследований (2019, 2020, 2022 гг.)

Вариант опыта	Урожайность, т/га	Прибавка	
		т/га	%
Действие азотных удобрений			
Контроль	5,5	-	-
Фон $P_{60}K_{60}$	6,6	1,1	20,0
$P_{60}K_{60}+N_{30}$	6,5	1,0	18,2
$P_{60}K_{60}+N_{60}$	5,8	0,3	5,5
$P_{60}K_{60}+N_{90}$	6,2	0,7	12,7
Действие фосфорных удобрений			
Контроль	5,5	-	-
Фон $N_{60}K_{60}$	5,7	0,2	3,6
$N_{60}K_{60}+P_{30}$	5,3	-	-
$N_{60}K_{60}+P_{90}$	5,7	0,2	3,6
Действие калийных удобрений			
Контроль	5,5	-	-
Фон $N_{60}P_{60}$	5,6	0,1	1,8
$N_{60}P_{60}+K_{30}$	7,3	1,8	32,7
$N_{60}P_{60}+K_{90}$	5,7	0,2	3,6

Вариант опыта	Урожайность, т/га	Прибавка	
		т/га	%
Действие биопрепарата			
Контроль	5,5	-	-
БП	6,5	1,0	18,2
БП+P ₆₀ K ₆₀	5,4	-	-
БП+N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	5,5	-	-
БП+N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,2	-	-
НСР ₀₅	1,8		

Применение на травостое люцерны фосфорно-калийных удобрений в дозах P₆₀K₆₀ оказало на уровне тенденции положительное влияние на её урожайность. При этом в среднем за 3 года исследований сбор сена составил 6,6 т/га, а прибавка к контролю – 20%.

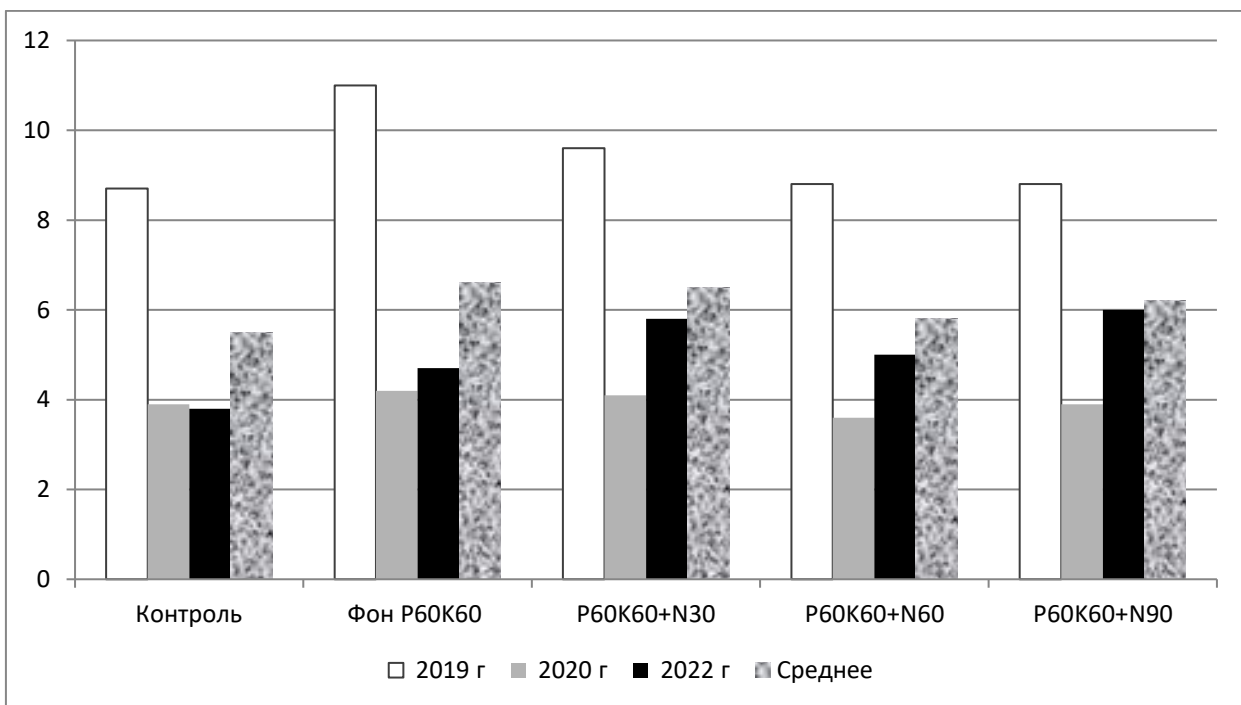


Рис. 1. Урожайность сена люцерны серповидной в зависимости от различных доз азотных удобрений на фоне P₆₀K₆₀, т/га (НСР₀₅ – 2019 г. F_φ<F₀₅, 2020 г. – 0,7 т/га, 2022 г. – 0,5 т/га, в среднем за 3 года – 1,8 т/га)

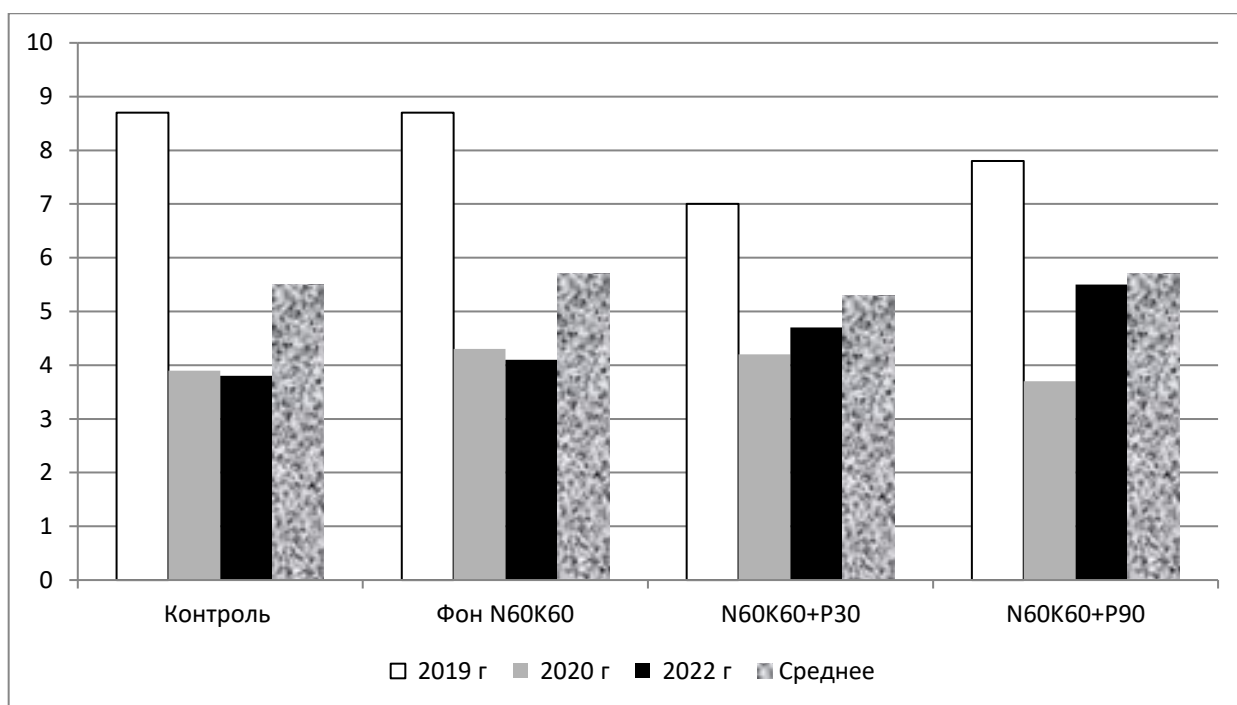


Рис. 2. Урожайность сена люцерны серповидной в зависимости от различных доз фосфорных удобрений на фоне $N_{60}K_{60}$, т/га ($НСР_{05}$ – 2019 г. $F_{\phi} < F_{05}$, 2020 г. – 0,7 т/га, 2022 г. – 0,5 т/га, в среднем за 3 года – 1,8 т/га)

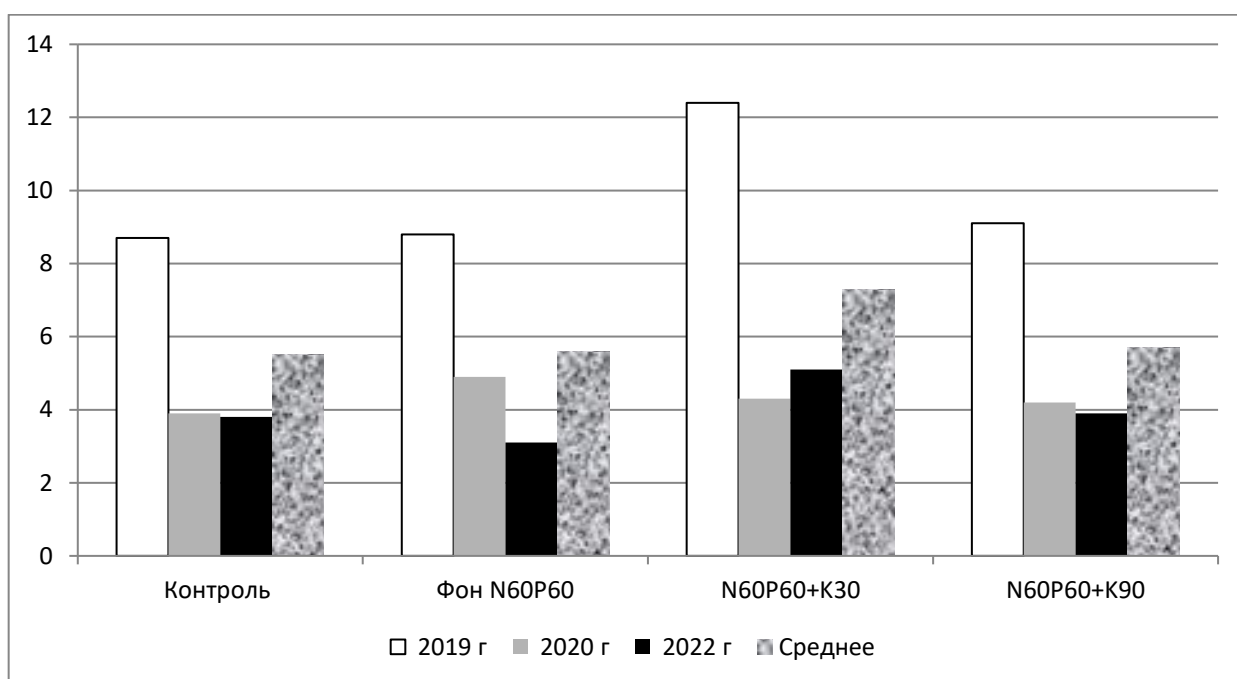


Рис. 3. Урожайность сена люцерны серповидной в зависимости от различных доз калийных удобрений на фоне $N_{60}P_{60}$, т/га ($НСР_{05}$ – 2019 г. $F_{\phi} < F_{05}$, 2020 г. – 0,7 т/га, 2022 г. – 0,5 т/га, в среднем за 3 года – 1,8 т/га)

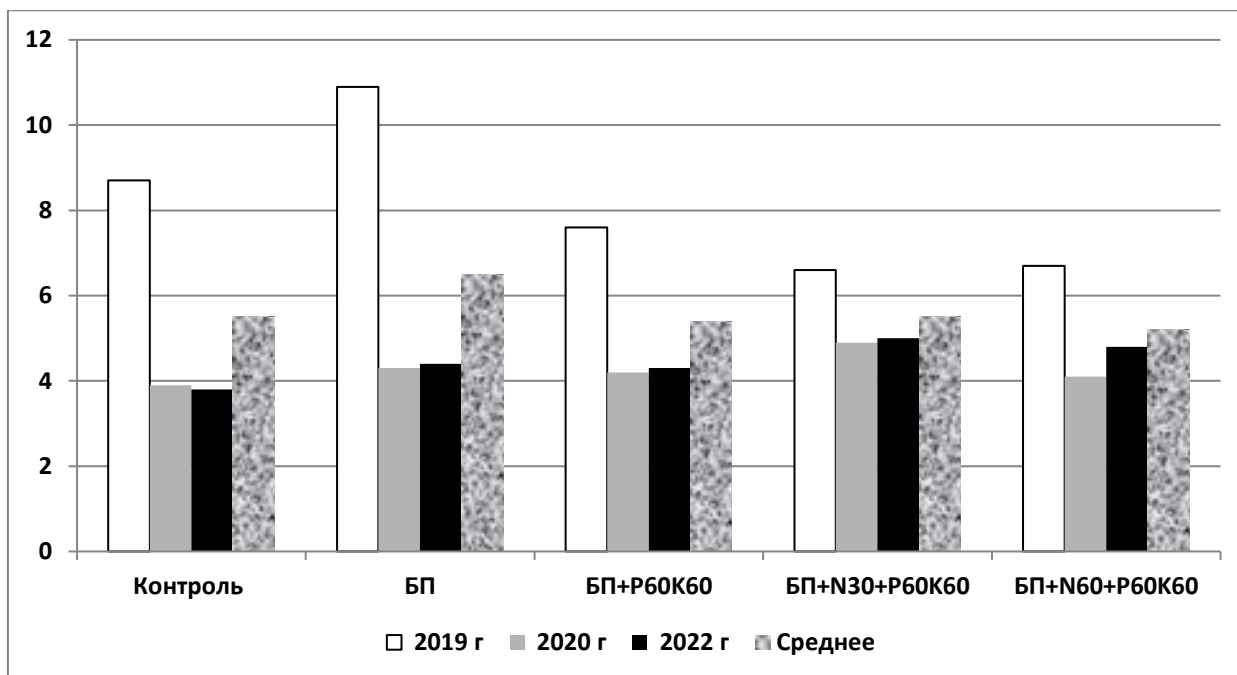


Рис. 4. Урожайность люцерны серповидной в зависимости от применения биопрепарата, т/га (НСР₀₅ – 2019 г. $F_{\phi} < F_{05}$, 2020 г. – 0,7 т/га, 2022 г. – 0,5 т/га, в среднем за 3 года – 1,8 т/га)

При анализе влияния на урожайность люцерны серповидной калийных минеральных удобрений отмечено их достоверное воздействие в низкой дозе – K_{30} . При этом увеличение дозы калия в 3 раза не приводило к росту урожайности сена люцерны.

Влияние инокуляции семян люцерны серповидной биопрепаратом клубеньковых бактерий на рост урожайности люцерны находилось на уровне тенденции. В этом случае было получено в среднем за 3 года исследований 6,5 т/га люцернового сена, что на 1 т/га, или на 18,2%, выше контроля без удобрений. В то же время от совместного применения препарата с полным минеральным удобрением при минимальной дозе азота (в варианте Биопрепарат+ $N_{30}P_{60}K_{60}$) на травостое люцерны серповидной третьего и пятого годов пользования были достигнуты достоверные прибавки урожая сена по отношению к контролю, составившие соответственно 1,0 и 1,2 т/га, или 15,6 и 31,6%. В среднем за 3 года опыта инокуляция семян люцерны серповидной биопрепаратом в сочетании с минеральными удобрениями ($N_{60}P_{60}K_{30}$) не давала эффекта.

На основании результатов полевого опыта по продуктивности люцерны серповидной и содержанию азота в сене определена биологическая азотфиксация, которая в среднем за годы исследований составила в фосфорно-калийном варианте $P_{60}K_{60}$ – 50 кг/га, в варианте с биопрепаратом – 55 кг/га и в варианте полного минерального удобрения $N_{60}P_{60}K_{30}$ – 81 кг/га.

Ботанический состав травостоя люцерны серповидной в зависимости от удобрений и инокуляции семян биопрепаратом

Ботанический состав травостоев, согласно литературным данным, во многом зависит от природных и антропогенных факторов. В связи с этим важное значение имеет изучение состояния травостоя люцерны серповидной Якутской желтой, возделываемой в суровых условиях Центральной Якутии на мерзлотной таежной палевой почве при изменении минерального питания за счет использования удобрений и инокуляции семян.

Определение ботанического состава травостоя люцерны серповидной в 2020 г., т.е. на третьем году ее жизни (на втором году использования), свидетельствует о неоднозначности внедрения в агроценоз дикорастущих растений, в основном пырея ползучего, в зависимости от исследуемых приемов (рис.5).

Содержание внедрившихся растений в травостой люцерны серповидной на контроле составляло 9,6%, по другим вариантам опыта оно варьировало от 5,3 до 20,3%.

Максимально сохранялся травостой люцерны серповидной в варианте с фосфорно-калийными удобрениями ($P_{60}K_{60}$), где засорение несеянными видами составляло всего 5,3%, а минимально – в варианте полного минерального удобрения, но с высокой дозой азота – $N_{90}P_{60}K_{60}$, где внедрившихся растений насчитывалось 20,7%. При внесении низких и умеренных доз азота в составе полного минерального удобрения несеянные виды в агроценозе люцерны составляли 10,8-15,1%.

В варианте опыта с высокой урожайностью при внесении $N_{60}P_{60}K_{30}$ в агроценозе люцерны серповидной содержалось 11,4% несеянных видов.

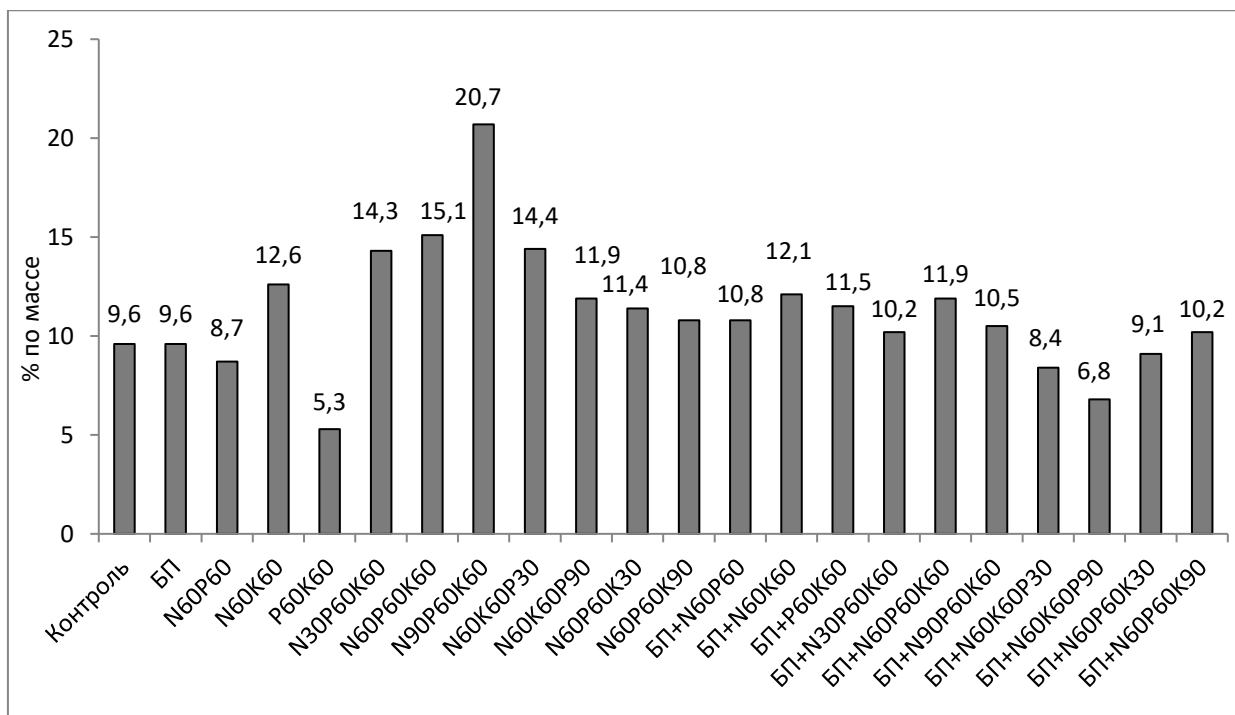


Рис. 5. Содержание сорных растений в агроценозе люцерны серповидной

При использовании биопрепарата в травостое люцерны содержалось 6,8-12,1% несеяных трав, т.е. инокуляция семян способствовала сохранению основной культуры.

Химический состав люцерны серповидной в зависимости от удобрений и инокуляции семян биопрепаратом

Согласно данным полевого опыта, применяемые минеральные удобрения при оптимизации доз и сочетаний и инокуляции семян в целом оказали положительное влияние на качество корма люцерны серповидной (табл. 2), что вполне согласуется с результатами многих ранее проведенных исследований по химическому составу многолетних трав в нашей стране и за рубежом (Алтунин, 1977; Андреев, Афанасьев, Мерзлая, 1972; Баканов и др., 1976; Афанасьев, 2021; Gruber, 1972; Pronczuk, Pawist, 1977). Как известно, к одному из основных показателей кормовой ценности травяных кормов относится содержание сырого протеина.

Исследованиями выявлены определенные изменения в содержании сырого протеина в люцерне серповидной под влиянием применяемых в опыте минеральных удобрений разной интенсивности (рис. 6). При внесении азотных

минеральных удобрений в возрастающих дозах от 30 до 90 кг/га N содержание сырого протеина в сухой массе люцерны серповидной несколько уменьшалось – с 14,83% на контроле до 14,45-14,57%. Более заметным это снижение было при внесении калийных удобрений в высокой дозе (90 кг/га K₂O) – до 13,6%.

Однако рост дозы фосфора минеральных удобрений до 90 кг/га P₂O₅, наоборот, привел к повышению содержания сырого протеина в люцерне до 15,02%.

Табл. 2. Химический состав сена люцерны серповидной в зависимости от доз и сочетаний минеральных удобрений и инокуляции семян биопрепаратами клубеньковых бактерий (в среднем за 3 года), %

Вариант опыта	Сырой протеин	Сырая клетчатка	Сырой жир	Сырая зола	Калий	Фосфор	Кальций
Контроль	14,83	30,10	2,72	6,03	1,60	0,31	1,81
БП	14,30	29,85	2,75	5,85	1,66	0,31	1,85
N ₆₀ P ₆₀	11,91	29,68	2,55	5,61	1,82	0,32	1,76
N ₆₀ K ₆₀	14,96	29,87	2,81	5,99	1,74	0,32	1,84
P ₆₀ K ₆₀	14,10	29,21	2,84	5,93	1,76	0,33	1,89
N ₃₀ +P ₆₀ K ₆₀	14,57	28,99	2,91	6,06	1,72	0,33	1,98
N ₆₀ +P ₆₀ K ₆₀	14,57	30,35	2,67	5,71	1,61	0,32	1,78
N ₉₀ +P ₆₀ K ₆₀	14,45	30,86	2,58	5,83	1,56	0,32	1,68
N ₆₀ K ₆₀ +P ₃₀	12,91	29,76	2,67	5,76	1,82	0,33	1,80
N ₆₀ K ₆₀ +P ₉₀	15,02	29,67	2,76	6,10	1,63	0,32	1,89
N ₆₀ P ₆₀ +K ₃₀	15,50	30,19	2,61	6,13	1,57	0,32	1,88
N ₆₀ P ₆₀ +K ₉₀	13,60	30,51	2,48	5,88	1,52	0,32	1,75
БП+N ₆₀ P ₆₀	14,08	29,89	2,67	6,23	1,55	0,33	1,81
БП+N ₆₀ K ₆₀	16,23	29,91	2,82	6,79	1,35	0,32	1,86
БП+P ₆₀ K ₆₀	16,23	30,55	2,62	6,75	1,43	0,32	1,84
БП+N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	15,52	29,79	2,78	6,31	1,58	0,32	1,90
БП+N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	16,22	30,85	2,60	6,71	1,31	0,32	1,78
БП+N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	14,67	30,29	2,63	6,27	1,49	0,32	1,80
БП+N ₆₀ K ₆₀ P ₃₀	14,92	31,43	2,42	5,77	1,48	0,31	1,73
БП+N ₆₀ K ₆₀ P ₉₀	12,42	29,48	2,72	5,74	1,75	0,33	1,72
БП+N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀	12,90	29,73	2,69	5,85	1,67	0,33	1,72
БП+N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	14,98	29,79	2,85	6,14	1,54	0,32	1,83
НСР ₀₅	1,91	1,40	0,38	0,48	0,21	0,02	0,21

В варианте N₆₀P₆₀K₃₀, где была достигнута максимальная в опыте урожайность люцерны серповидной – 7,3 т/га, в сене содержалось 15,5% сырого

протеина, что свидетельствует о его достаточно высокой протеиновой обеспеченности. Высокое содержание сырого протеина в люцерновом сене в среднем за 3 года полевого опыта на уровне 16,2% отмечалось в вариантах совместного применения биопрепарата с $N_{60}K_{60}$, $P_{60}K_{60}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$ при контрольном значении 14,8%.

Содержание сырой клетчатки в сене люцерны серповидной имело тенденцию к повышению с ростом доз азотных, а также калийных минеральных удобрений. Относительно большее содержание сырой клетчатки в сене – 31,43% – обнаруживалось у люцерны серповидной в варианте совместного применения биопрепаратов для инокуляции с минеральными удобрениями (БП+ $N_{60}P_{30}K_{60}$).

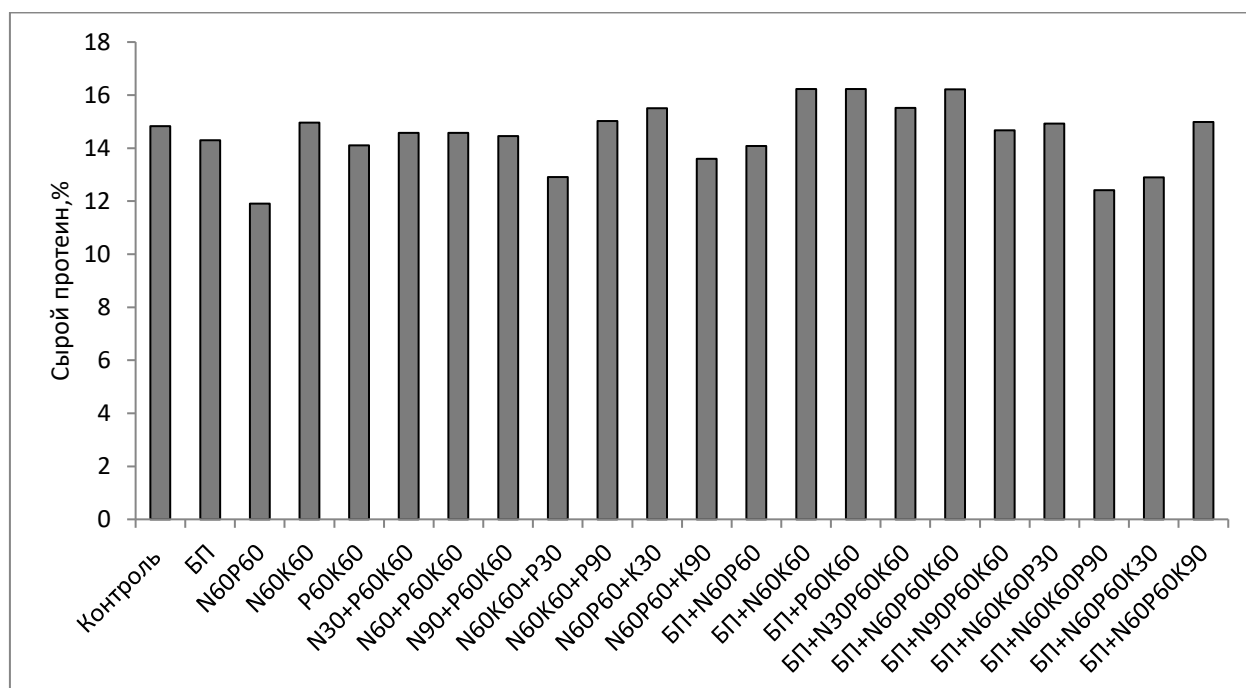


Рис. 6. Содержание сырого протеина в сене люцерны серповидной (в среднем за 3 года)

Минеральные удобрения и инокуляция семян практически не влияли на содержание фосфора в люцерне серповидной. В среднем за 3 года исследований в люцерновом сене содержание фосфора на контроле составляло 0,31%, в вариантах опыта оно колебалось незначительно – от 0,31 до 0,33%.

Содержание калия в сене люцерны в среднем за годы исследований на контроле равнялось 1,60%, а в вариантах опыта варьировало от 1,31 до 1,82%. При

этом более высокое значение содержания калия в люцерновом сене наблюдалось в вариантах $N_{60}P_{60}$ и $N_{60}P_{30}K_{60}$.

Мало различались варианты опыта по содержанию кальция в сене люцерны серповидной. Если на контроле в среднем за годы опыта люцерна содержала 1,81% кальция, то в вариантах с использованием удобрений и биопрепарата – от 1,68 до 1,9%.

Следует учитывать, что в зоотехнической практике при оценке корма большое значение придается содержанию в нем важнейших питательных веществ в расчете на кормовую единицу. Так, на 1 кг корм. ед. сбалансированного суточного рациона дойным коровам нужно около 110 г переваримого протеина, 7 г кальция, 4,5 г фосфора. При недостатке отдельных ингредиентов в основном корме предусматриваются соответствующие добавки (Баканов, Овсицер, Бондарева, 1976; Справочник ..., 1976; Хенниг, 1976). Согласно данным проведенного полевого опыта, в люцерновом сене варианта с наибольшей продуктивностью $N_{60}P_{60}K_{30}$ в расчете на 1 корм. ед. приходилось 155 г переваримого протеина, 31 г кальция, 25,3 г калия, 5,3 г фосфора, то есть полученный корм вполне соответствовал зоотехническим нормам кормления скота. В целом, исходя из экспериментальных данных полевого опыта в условиях мерзлотной таежной палевой почвы в Центральной Якутии можно заключить, что сено люцерны серповидной Якутской желтой в вариантах с внесением минеральных удобрений, а также биопрепарата для инокуляции семян по содержанию сырого протеина, клетчатки, золы, жира, углеводов, а также фосфора, калия и кальция вполне соответствовало отечественным нормам, принятым в рационах сельскохозяйственных животных.

Вынос и баланс питательных веществ при возделывании люцерны серповидной

По результатам исследований в среднем за 3 года (2019, 2020, 2022 гг.) был рассчитан вынос азота, фосфора и калия с урожаем сухой массы люцерны серповидной. На контроле без применения удобрений вынос составил: азота 130,6 кг/га, фосфора 17 кг/га, калия 88 кг/га, соответственно в варианте $P_{60}K_{60}$ – 148,9;

21,8; 116,1 кг/га и в варианте с максимальной урожайностью – $N_{60}P_{60}K_{30}$ – 181; 23,4; 114,6 кг/га.

Вариант с использованием биопрепарата по выносу питательных веществ люцерной серповидной (148,7 кг/га N, 20,1 кг/га P_2O_5 , 107,8 кг/га K_2O) приближался к контрольному.

Для разработки систем удобрения в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур важное значение имеет учет выноса питательных веществ (N, P_2O_5 и K_2O) в расчете на 1 т продукции (Методическое руководство ..., 2008). В условиях мерзлотной таежной почвы в Центральной Якутии при возделывании люцерны серповидной вынос N, P_2O_5 и K_2O на 1 т продукции составлял на контроле 23,7; 3,1; 16,0, в варианте $P_{60}K_{60}$, - 22,6; 3,3; 17,5, в варианте $N_{60}P_{60}K_{30}$ – 24,8; 3,2; 15,7 и биопрепарата – 22,9; 3,1; 16,6. Эти новые данные выноса питательных веществ люцерной серповидной могут служить важной научной базой при разработке соответствующих нормативов для условий северных регионов.

По данным корреляционного анализа, между урожайностью люцерны серповидной и выносом питательных веществ: азота, фосфора и калия – установлена тесная связь при коэффициенте r , составляющем, соответственно, 0,88; 0,98 и 0,82.

Расчет баланса питательных веществ показал, что в среднем за годы исследований при возделывании люцерны серповидной он сложился как отрицательный по азоту, а также по калию, за исключением варианта с высокой дозой калия ($N_{60}P_{60}K_{90}$), и положительный – по фосфору, кроме варианта $N_{60}K_{60}$, где фосфор не вносили.

Влияние минеральных удобрений и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий на агрохимические свойства почвы

Применение всех видов минеральных удобрений в исследуемых дозах и препарата практически не влияло на величину рН почвы при возделывании

люцерны серповидной второго года жизни (2019 г.), но повышало значение этого показателя в последующие годы.

Изменения фосфатного и калийного режимов почвы по вариантам опыта на молодом травостое люцерны серповидной (на второй год ее жизни) в зависимости от исследуемых факторов – минеральных удобрений разной интенсивности и инокуляции семян, в том числе их совместного использования, не носили четкого характера. Однако в последующем периоде наблюдений отмечалось повышение содержания подвижного P_2O_5 в почве в сравнении с неудобренным контролем по всем видам исследуемых удобрений в 2020 г. (третий год жизни люцерны) и уменьшение его содержания – в 2022 г. (пятый год жизни люцерны).

Увеличение содержания калия в почве по отношению к контролю более заметным было при внесении азотных и калийных удобрений.

Содержание нитратного азота в почве при внесении минеральных удобрений и биопрепарата под люцерну серповидную мало отличалось от контроля во все сроки определения. В то же время наметилась тенденция увеличения нитратного азота в почве по всем исследуемым вариантам удобрений на травостое люцерны серповидной второго (2020 г.) и пятого (2022 г.) годов жизни.

На основании трехлетних данных анализа почвенных проб (2019, 2020, 2022 гг.) следует утверждать, что минеральные удобрения и инокуляция семян люцерны серповидной явились положительным фактором в сохранении плодородия мерзлотной таежной палевой почвы.

Экономическая и энергетическая эффективность возделывания люцерны серповидной

Экономическую эффективность возделывания люцерны серповидной сорта Якутская желтая при применении удобрений рассчитывали по методике Н.Н. Баранова, В.А. Захаренко, А.С. Шевченко и др. (1979). Учитывали стоимость прибавки урожая сена люцерны, сумму затрат на получение этой прибавки за счет применения агроприема, рассчитывали окупаемость 1 руб. затрат дополнительной продукцией.

Полученная в вариантах полевого опыта растениеводческая продукция переведена в зерновые единицы (Программа и методика ..., 1990). Цена на зерно, по данным Минсельхоза за 2022 г., составляла 15290 руб./т. Цены на минеральные удобрения составляли: на азотные 13000 руб./т, фосфорные – 27000 руб./т, калийные 18000 руб./т.

Как показали расчеты, применение минеральных удобрений повышало урожайность люцернового сена с 5,5 т/га на контроле до 6,5-7,3 т/га. Исходя из данных по окупаемости затрат эффективными были варианты удобрений $P_{60}K_{60}$, $N_{30}P_{60}K_{60}$ и $N_{60}P_{60}K_{30}$.

При этом наиболее высокая окупаемость 1 руб. затрат в условиях опыта 5,97 руб. достигалась в варианте полного минерального удобрения $N_{60}P_{60}K_{30}$, т.е. с внесением умеренной дозы азота.

Расчет энергетической эффективности применения удобрений на посевах люцерны серповидной проводили по методике Л.М. Державина, И.В. Колокольцевой и др. (2000).

Энергетические затраты на применение минеральных удобрений составляли для азотных удобрений 86,8 МДж/кг, фосфорных 12,6 МДж/кг и калийных 8,3 МДж/кг д.в. Содержание энергии в урожае люцерны серповидной составляло 21,83 МДж в расчете на 1 кг сухого вещества.

В среднем за 3 года исследований энергетические затраты на применение удобрений под люцерну серповидную варьировали от 418 до 3022 МДж/га в зависимости от варианта полевого опыта.

Высокая энергетическая эффективность применения удобрений на посевах люцерны серповидной отмечена в фоновых вариантах $P_{60}K_{60}$, $N_{60}K_{60}$ и, как правило, во всех вариантах полного минерального удобрения.

В варианте с максимальной продуктивностью люцерны серповидной – $N_{60}P_{60}K_{30}$ достигался высокий энергетический коэффициент, составивший 18,9. Расчет окупаемости 1 кг питательных веществ минеральных удобрений при возделывании люцерны серповидной показал, что она по отношению к контролю без внесения удобрений в этом варианте была также высокой и составляла 36 кг

сена (или 18 кг зерновых единиц) при значении на фосфорно-калийном фоне (вариант P₆₀K₆₀) – 27,5 кг сена (13,8 кг зерновых единиц).

Заключение

В работе изложены результаты трехлетних научных исследований (2019, 2020, 2022 гг.), выполненных в Центральной Якутии на мерзлотной таежной палевой почве в полевом опыте, где испытывалось влияние минеральных удобрений и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий на продуктивность люцерны серповидной – *Medicago falcata L.*

На основе проведенного эксперимента с учетом величины урожайности люцерны серповидной сорта Якутская желтая, ее кормового достоинства, улучшения агрохимических свойств почвы, агроэкономических и энергетических показателей установлена целесообразность возделывания этой бобовой культуры в маргинальных условиях Центральной Якутии, которая, отличаясь высокой зимостойкостью, засухоустойчивостью и солевыносливостью, может занять значимое место в укреплении кормовой базы животноводства республики.

В повышении продуктивности и устойчивости люцерны серповидной, как показали исследования, большое значение имеет применение минеральных удобрений при оптимизации их сочетаний и доз. При этом наибольшая эффективность достигалась от внесения полного минерального удобрения в дозах N₆₀P₆₀K₃₀, что обеспечивало получение ежегодной урожайности сена люцерны 7,3 т/га, или на 32,7% выше контроля без удобрений. Люцерновое сено характеризовалось высокой кормовой ценностью и содержало 15,5% сырого протеина, 2,6% сырого жира, 6,1% сырой золы, 0,32% фосфора, 1,6% калия, 1,9% кальция, что соответствовало отечественным нормам кормления сельскохозяйственных животных.

Применение фосфорно-калийных удобрений в дозах P₆₀K₆₀ повышало урожайность люцерны на уровне тенденции. В среднем за 3 года сбор сена составлял 6,6 т/га, а прибавка к контролю 20%.

При возделывании люцерны на мерзлотной почве не установлена эффективность возрастающих доз азота минеральных удобрений от 30 до 90 кг N на фоне $P_{60}K_{60}$, что согласуется с данными более ранних исследований с бобовыми культурами в других регионах страны.

Влияние инокуляции семян люцерны серповидной биопрепаратом клубеньковых бактерий на рост урожайности люцерны находилось на уровне тенденции. В этом случае было получено в среднем за 3 года исследований 6,5 т/га люцернового сена, что на 1 т/га, или на 18,2%, выше контроля без удобрений. Инокуляция семян люцерны серповидной биопрепаратом в сочетании с минеральными удобрениями ($N_{60}P_{60}K_{30}$) в среднем за 3 года опыта в суровых климатических условиях Якутии не давала эффекта. В то же время от совместного применения биопрепарата с полным минеральным удобрением при минимальной дозе азота (в варианте Биопрепарат+ $N_{30}P_{60}K_{60}$) на травостое люцерны серповидной третьего и пятого годов пользования были достигнуты достоверные прибавки урожая сена по отношению к контролю, составившие соответственно 1,0 и 1,2 т/га, или 15,6 и 31,6%.

На основании результатов опыта по продуктивности люцерны серповидной Якутской желтой и содержанию азота в сене определена биологическая азотфиксация, которая в среднем за годы исследований составила в варианте $P_{60}K_{60}$ – 50 кг/га, в варианте с биопрепаратом – 55 кг/га и $N_{60}P_{60}K_{30}$ – 81 кг/га.

Внесение минеральных удобрений и предпосевная обработка семян биопрепаратом клубеньковых бактерий при возделывании люцерны серповидной оказывали влияние на содержание сырого протеина в травяном корме. В варианте $N_{60}P_{60}K_{30}$, где была получена максимальная в опыте урожайность люцерны серповидной – 7,3 т/га, в сене содержалось 15,5% сырого протеина, что свидетельствует о его достаточно высокой протеиновой питательности.

Еще более высокое содержание сырого протеина в сене люцерны отмечено при использовании инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий в комплексе с минеральными удобрениями в дозах $N_{60}K_{60}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$, где оно составляло 16,2%. Использование биопрепарата для инокуляции семян люцерны

серповидной на неудобренном фоне приводило к снижению содержания сырого протеина в сене до 14,3%.

При внесении азотных минеральных удобрений в возрастающих дозах от 30 до 90 кг/га N содержание сырого протеина несколько снижалось – с 14,83% на контроле до 14,45-14,57%. Более заметным это снижение было при внесении калийных удобрений в высокой дозе (90 кг/га K₂O) – до 13,6%. В то же время рост дозы фосфора минеральных удобрений до 90 кг/га P₂O₅, наоборот, повысил содержания сырого протеина в люцерне до 15,0%.

В содержании сырой клетчатки в сене люцерны серповидной отмечена тенденция к повышению этого показателя с ростом доз азотных, а также калийных минеральных удобрений.

Минеральные удобрения и инокуляция семян практически не влияли на содержание фосфора в люцерне: на контроле оно составляло 0,31%, в вариантах опыта колебалось незначительно – от 0,31 до 0,33%.

Содержание калия в сене люцерны на контроле находилось на уровне 1,60%, в вариантах опыта варьировало от 1,31 до 1,82% при более высоком значении в вариантах N₆₀P₆₀ и N₆₀P₃₀K₆₀.

Содержание кальция в люцерновом сене колебалось по вариантам от 1,68 до 1,9% при контрольном значении 1,81%.

По данным химического состава, в люцерновом сене варианта с наибольшей продуктивностью – N₆₀P₆₀K₃₀ в расчете на 1 кг овсяных единиц приходилось 155 г переваримого протеина, 31 г кальция, 25,3 г калия, 5,3 г фосфора, то есть полученный корм вполне соответствовал отечественным зоотехническим нормам кормления сельскохозяйственных животных.

Окупаемость 1 кг питательных веществ минеральных удобрений под люцерну серповидную по отношению к контролю без внесения удобрений в фосфорно-калийном варианте P₆₀K₆₀ составила 27,5 кг сена (или 13,8 кг зерновых единиц), а в варианте полного минерального удобрения N₆₀P₆₀K₃₀ – 36 кг сена (или 18 кг зерновых единиц).

На основании трехлетних данных анализа почвенных проб (в среднем за 2019, 2020, 2022 гг.) установлено, что минеральные удобрения и инокуляция семян люцерны серповидной явились положительным фактором в сохранении и улучшении агрохимических свойств мерзлотной таежной палевой почвы, в оптимизации минерального питания растений, а также реакции почвенной среды.

Возделывание люцерны серповидной при оптимизации минерального питания позволило достичь высокой экономической и энергетической эффективности. Наибольший эффект получен в варианте полного минерального удобрения в дозах $N_{60}P_{60}K_{30}$, где окупаемость 1 рубля дополнительных затрат составляла 5,97 руб., энергетический коэффициент при дополнительном сборе обменной энергии в размере 39,19 ГДж/га находился на уровне 18,9.

Выводы

1. В условиях Центральной Якутии на мерзлотной таежной палевой почве при возделывании люцерны серповидной сорта Якутская желтая эффективным агроприемом является применение минеральных удобрений при оптимизации сочетаний и доз и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий. На основе проведенного полевого опыта установлено, что наибольшая урожайность сена люцерны серповидной в среднем за 3 года исследований на уровне 7,3 т/га, или на 32,7% выше контроля, достигалась от внесения полного минерального удобрения в дозах $N_{60}P_{60}K_{30}$. Применение фосфорно-калийных удобрений в дозах $P_{60}K_{60}$, а также инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий повышало урожайность сена люцерны до 6,5-6,6 т/га, что на 18-20% превышало контроль без внесения удобрений.

2. По результатов полевого опыта, при возделывании новой для Центральной Якутии кормовой культуры – люцерны серповидной Якутской желтой в условиях мерзлотной таежной палевой почвы биологическая азотфиксация составила в варианте $P_{60}K_{60}$ – 50 кг/га, в варианте с биопрепаратом – 55 кг/га и в варианте полного минерального удобрения в дозах $N_{60}P_{60}K_{30}$ – 81 кг/га.

3. Внесение минеральных удобрений и предпосевная обработка семян биопрепаратом клубеньковых бактерий при возделывании люцерны серповидной оказывали положительное влияние на ее качество, прежде всего на содержание сырого протеина в травяном корме. В варианте $N_{60}P_{60}K_{30}$ с максимальной урожайностью в сене люцерны серповидной содержалось 15,5% сырого протеина, что свидетельствует о его высокой протеиновой питательности.

Высокое содержание сырого протеина в сене люцерны на уровне 16,2% отмечено при использовании инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий в комплексе с минеральными удобрениями в дозах $N_{60}K_{60}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Минеральные удобрения и инокуляция семян не влияли на содержание фосфора в люцерне: на контроле оно составляло 0,31%, в вариантах опыта колебалось незначительно – от 0,31 до 0,33%.

Содержание калия в сене люцерны на контроле находилось на уровне 1,60%, в вариантах опыта варьировало от 1,31 до 1,82% при более высоком значении в вариантах $N_{60}P_{60}$ и $N_{60}P_{30}K_{60}$.

Содержание кальция в люцерновом сене колебалось по вариантам от 1,68 до 1,9% при контрольном значении 1,81%.

4. Согласно химическому анализу, минеральные удобрения и инокуляция семян люцерны серповидной явились положительным фактором в сохранении и улучшении агрохимических свойств мерзлотной таежной палевой почвы, в оптимизации минерального питания растений, а также реакции почвенной среды.

5. Возделывание люцерны серповидной при оптимизации минерального питания позволило достичь высокой экономической и энергетической эффективности. Наибольший эффект получен в варианте полного минерального удобрения в дозах $N_{60}P_{60}K_{30}$, где окупаемость 1 руб. дополнительных затрат составляла 5,97 руб., энергетический коэффициент при дополнительном сборе обменной энергии в размере 39,19 ГДж/га находился на уровне 18,9.

Предложения производству

В условиях Центральной Якутии на мерзлотных таёжных палевых почвах целесообразно возделывать люцерну серповидную сорта Якутская желтая, характеризующуюся высокой зимостойкостью и устойчивой продуктивностью в течение 4-летнего периода использования. Для обеспечения среднегодовой урожайности высококачественного сена на уровне 7,3 т/га, что на 32,7% выше контроля, рекомендуется применять минеральные удобрения в дозах $N_{60}P_{60}K_{30}$. При этом в сене содержится 15,5% сырого протеина, 2,6% сырого жира, 0,32% фосфора, 1,6% калия, 1,9% кальция, что соответствует нормам кормления сельскохозяйственных животных. Достигается высокая экономическая и энергетическая эффективность: 1 руб. дополнительных затрат окупается 5,97 руб., а энергетический коэффициент при дополнительном сборе обменной энергии 39,19 ГДж/га находится на уровне 18,9.

Применение фосфорно-калийных удобрений в дозах $P_{60}K_{30}$ позволяет повысить урожайность люцернового сена до 6,6 т/га, что на 20% выше контроля, при окупаемости 1 руб. затрат 4,49 руб. дополнительной продукции.

Эффективным приемом при возделывании люцерны серповидной является инокуляция семян биопрепаратом клубеньковых бактерий в дозе 200 г на гектарную норму, позволяющим увеличить урожайность сена до 6,5 т/га, или на 18,2% по отношению к контролю, и повысить устойчивость люцернового травостоя по годам использования.

Направления дальнейших исследований

Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение устойчивости и продуктивного долголетия агроценозов люцерны серповидной Якутской желтой на мерзлотной таежной палевой почве в зависимости от применения макро- и микроудобрений разной интенсивности и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий. Особое внимание при этом должно быть обращено на изучение экологической безопасности возделывания люцерны, повышение биологической активности почвы, миграции элементов питания по профилю и получение экологически безопасной кормовой продукции.

Список основных опубликованных работ по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Яковлева, М.Т. Эффективность местных штаммов клубеньковых бактерий на продуктивность люцерны / М.Т. Яковлева, **В.Б. Борисова** // International Agricultural Journal. 2021. Т. 64. №5. С.274-279. DOI:10.24412/2588-0209-2021-10372.
2. Мерзлая, Г.Е. Эффективность удобрений при возделывании люцерны серповидной в Якутии / Г.Е. Мерзлая, **В.Б. Борисова** // Кормопроизводство. 2022. №1. С. 21-24. DOI:10.25685/KRM.2022.62.54.001.
3. Охлопкова, П.П. Влияние удобрений на урожайность и качество люцерны серповидной в Якутии / П.П. Охлопкова, Г.Е. Мерзлая, **В.Б. Борисова** // Агрехимический вестник. 2022. №5. С.21-23. DOI:10.24412/1029-2551-2022-5-005.

Публикации в других изданиях

4. Borisova, V.B. Efficiency of local stains of nodule bacteria *Sinorhizobium meliloti* in the cultivation of alfalfa crescent in the conditions of central Yakutia / **V.B. Borisova**, A.I. Sepanov // В книге: Emerging Threats for Human Health Impact of Socioeconomic and Climate Change on Zoonotic Diseases. Program and Abstract Book. Yakut State Agricultural Academy. Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAN; North-Eastern Federal University in Yakutsk; University of Hohenheim; Yakut Scientific Research Institute of Agriculture; LLC Scientific & production center «Khotu-Vact». 2018. С. 75.
5. Борисова, В.Б. Применение местных штаммов клубеньковых бактерий при возделывании люцерны / **В.Б. Борисова** // В сборнике: Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, Казахстана, Беларуси и Болгарии. Сборник научных докладов XXII международной научно-практической конференции, посвященная 50-летию образования Сибирского отделения Российской академии сельскохозяйственных наук и 70-летию Якутского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. 2019. С. 14-15.
6. Борисова, В.Б. Влияние минеральных удобрений на урожайность люцерны серповидной в условиях Якутии / **В.Б. Борисова** // Проблемы и перспективы современной агрохимии. Материалы 54-й Всероссийской с международным участием школы-конференции молодых ученых, специалистов агрохимиков и экологов, посвященной 155-летию со дня рождения академика Д.Н. Прянишникова / Под ред. Сычева В.Г. М.: ВНИИА, 2020. С. 10-13.

