ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ЯКУТСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ИМЕНИ М.Г. САФРОНОВА» -
ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «ЯКУТСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ АГРОХИМИИ ИМЕНИ Д.Н. ПРЯНИШНИКОВА»

На правах рукописи

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

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

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

Москва 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4

Глава 1. Обзор литературы 11

1.1. Биологические особенности люцерны серповидной 11

1.2. Эффективность инокуляции люцерны клубеньковыми бактериями 14

1.3. Формирование урожая люцерны в зависимости от условий возделывания . 20

1.4. Влияние удобрений на устойчивость многолетних травостоев 22

1.5. Особенности применения удобрений под люцерну и влияние их на агрохимические свойства почвы 27

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ 33

Глава 2. Условия и методика исследований 33

2.1. Агрометеорологические условия 33

2.2. Место, условия и методика исследований 36

Глава 3. Влияние доз и сочетаний азотных, фосфорных, калийных минеральных удобрений и инокуляции семян на урожайность сена люцерны серповидной 40

3.1. Особенности роста и развития люцерны серповидной 40

3.2. Влияние удобрений и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий на количество и массу клубеньков люцерны серповидной 41

3.3. Урожайность сена люцерны серповидной Якутской желтой в зависимости от удобрений и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий 44

3.4. Ботанический состав травостоя люцерны серповидной в зависимости от удобрений и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий 49

Глава 4. Химический состав люцерны серповидной в зависимости от удобрений и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий 52

Глава 5. Вынос и баланс питательных веществ при возделывании люцерны серповидной Якутской желтой 65

Глава 6. Влияние минеральных удобрений и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий на агрохимические свойства почвы 68

Глава 7. Экономическая и энергетическая эффективность возделывания люцерны серповидной 72
7.1. Экономическая эффективность возделывания люцерны серповидной 72
7.2. Энергетическая эффективность возделывания люцерны серповидной 73
Заключение 76
Предложения производству 81
Направления дальнейших исследований 82
Список литературы 83
ПРИЛОЖЕНИЯ 100

Введение

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, особенно люцерны, имеет важное значение в условиях мерзлотных почв, в которых симбиотический аппарат растений развивается замедленными темпами (Абрамов, 2000; Денисов, Стрельцова, 2000; Яковлева, 2007; Становление и зрелость сельскохозяйственной науки Якутии …, 2000). Использование клубеньковых бактерий при возделывании сельскохозяйственных культур обогащает почву биологическим азотом, повышает урожайность и качество растительной продукции (Архипова, 1976; Александров и др., 1986; Артемов и др., 2007; Базилинская, 1989; Берестецкий,1983; 1987). Бобовые растения, как известно, по урожайности и белковой продуктивности превосходят многие возделываемые культуры. Они также служат лучшими предшественниками для большей части сельскохозяйственных культур в полевых, кормовых и специализированных севооборотах (Спиридонов, 2011). Биологические особенности бобовых трав исполняют положительную роль в земледелии. Симбиоз бобовых растений с клубеньковыми бактериями создает условия для усвоения молекулярного азота воздуха. В настоящее время не в полной мере оцениваются возможности получения высокобелковых кормов за счет биологической особенности бобовых культур из-за низкого уровня агротехники. Ощутимым препятствием для расширения посевов бобовых культур является и недостаточное обеспечение семенным материалом, а также удобрениями.

Растения и микроорганизмы объединены между собой многочисленными связями, что вызывает необходимость изучения их как единой системы, реагирующей на изменения в биоценозе. Однако при достаточно хорошей изученности агротехнических особенностей бобовых культур по отдельным

элементам технологий среди ученых нет единого мнения. К недостаточно решенным вопросам, в частности, относится применение под бобовые культуры минеральных форм азота.

Бобовые растения в симбиозе с клубеньковыми бактериями способны активно усваивать молекулярный азот атмосферы, труднодоступный для других растений, что способствует повышению их урожайности и питательной ценности, а также улучшению плодородия почвы. Обработка (инокуляция) семян бобовых штаммами активных клубеньковых бактерий перед посевом позволяет обогащать корневую систему бобовых культур молекулярным азотом.

При возделывании бобовых культур в конкретных природно-климатических условиях важная роль отводится разработке приемов рационального использования удобрений (Лукин, 2005; Кормопроизводство, 2006; Дегунова и др., 2011; 2013; 2014; Кидин, 2012; Сычев, 2021; Сычев, Соколов, Завалин, Шмырева, 2017; Шкуркин, Шафран, Налиухин, 2021; Госпрограмма развития сельского хозяйства, 2020). Однако в настоящее время системы удобрения под бобовые растения, в том числе под люцерну серповидную, в условиях мерзлотных таежных палевых почв Якутии разработаны недостаточно. При этом важно учитывать имеющийся острый дефицит удобрений в республике Якутия, завоз которых сократился в 10-15 раз, из-за чего наблюдается снижение плодородия мерзлотных почв и что в конечном итоге негативно сказывается на урожайности возделываемых культур.

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 7,3 т/га, что на 32,7% превышало контроль без удобрений.

2. Удобрения и инокуляция семян люцерны серповидной 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 ФГБНУ «Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени 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-ой 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.); IV молодежной конференции ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» (Якутск, 9 декабря 2022 г.).

Публикации. По материалам научных исследований опубликовано 6 работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК Российской Федерации.

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 благодарность доктору сельскохозяйственных наук Степанову Айаалу Ивановичу за помощь и ценные советы в постановке и 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, ценные замечания и предложения. Автор благодарит также сотрудников Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова за помощь в проведении полевых исследований в течение 2018-2022 гг. и всех сотрудников Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии имени Д.Н, Прянишникова за помощь в подготовке работы.

Глава 1. Обзор литературы

1.1. Биологические особенности люцерны серповидной

Люцерна относится к наиболее распространенным культурам в земледелии во многих странах мира. Посевная площадь люцерны превышает 35 млн га. Широкое распространение люцерны связано с ее высокой кормовой ценностью, а также способностью произрастать на одном месте до 5 лет и более и формировать высокие урожаи вегетативной массы.

Люцерна – высокобелковая культура, ее белок биологически полноценен и содержит все незаменимые аминокислоты в необходимом для животного организма количестве. Не случайно в мировой практике появилось новое направление в использовании люцерны, связанное с биотехнологией белковых концентратов для сельскохозяйственных животных, а в перспективе – и людей.

Люцерна богата витаминами и другими соединениями, оказывающими благотворное воздействие на животный организм. Помимо использования ее массы в виде сенажа и сена в зимний период, из нее в смеси со злаками можно готовить силос и зеленый корм для подкормки животных в течение вегетационного периода. Во всем мире люцерна является основным сырьем для приготовления витаминной муки и гранулированных добавок в рационы птицы, свиней, молодняка, племенных и высокопродуктивных животных. Люцерна – лучший предшественник для зерновых и овощных культур, и ее посевы желательны во всех видах севооборота (Осипова, 2000; Гончаров, Лубенец, 1985; Методическое руководство …, 2008).

Для экстремальных условий Якутии большое значение имеет ее соле- и засухоустойчивость. Внимание исследователей Якутии культура люцерны привлекала с 1930 г. Однако более широко исследования были развернуты после изучения местного генофонда люцерны серповидной и гибридной, что и привело к созданию якутскими учеными в 1990-х годах двух первых сортов люцерны гарантированной зимостойкости - Якутской желтой (Яковлева, 1993; Еловская, 1984; Денисов, Стрельцова, 2000; Соромотина, 1993, 2000; Емельянова, 2007).

Люцерна посевная, *Medicago sativa L.*, является наиболее важным из всех возделываемых в полевой культуре видом *Medicago*. По характеру развития до определенной стадии люцерна похожа на клевер, и в то же время очень отличается от него. Люцерна посевная развивает длинные (до 1,2 м), разветвленные вверху стебли, имеет соцветие кисть, окрашенную в сине-фиолетовый цвет; ее тройчатые листья отличаются от клеверных остроконечиями, образованными на конце каждого листочка выступающей за пределы пластинки главной жилкой, и тем, что конечный средний листочек сидит на более длинном черешке, чем боковые; листовая поверхность люцерны сильно развита, так что при хорошем росте может в несколько десятков раз превышать площадь, занятую посевом люцерны, что дает возможность расходовать много воды на испарение. Многосемянный плод люцерны представлен спирально-свернутым в несколько оборотов (2-3) бобом, с сетчато-пушистой поверхностью; мощный многолетний корень люцерны, из верхней части которого (вернее, из укороченного главного стебля) ежегодно образуется широкий куст стеблей, распространяется на большую глубину; эта глубина изменяется в зависимости от свойств почвы и еще более – подпочвы, в которой по преимуществу распространяется корневая система; в среднем корень углубляется на 1-2 м (при особенно проницаемой подпочве корень способен углубляться до 15 м), чем и объясняется стойкость люцерны при временных засухах (Денисов, 2000). Точно так же, как и в случае клевера, корень, укорачиваясь, втягивает с возрастом корневую шейку в почву на глубину, защищая от повреждений часть растения, несущую почки.

Время введения люцерны в культуру с точностью не выяснено: известно, что она является древним растением и в Персии, которая считается ее родиной, где культивировалась на корм лошадям задолго до начала нашей эры. Отсюда люцерна проникла в Европу. Во время персидских походов Александра Македонского она была занесена в Грецию, затем в Италию.

Нормальным климатом для люцерны считается климат «виноградного района». С распространением на север ее продуктивность уменьшается, так как она хуже отрастает после скашивания и дает не больше двух укосов. Люцерна может

вымерзать. Одни авторы утверждают, что она выносит морозы до 20^0С в бесснежные зимы, другие – что это растение более чувствительно к холодам. Засухи люцерной переносятся относительно хорошо, благодаря сильному развитию корня в глубину. Кроме того, благодаря большему развитию сосудов стебли люцерны способны быстрее проводить воду к листьям, чем, например, стебли клевера.

Для люцерны требуются рыхлые и не излишние влажные почвы. Непригодны для люцерны почвы с близким уровнем грунтовых вод, склонные к заболачиванию, мелкие, хрящевые, каменистые, тяжелые глинистые и бедные песчаные почвы (Кшникаткина, Гришин и др., 2007). Очень хорошей почвой для люцерны является чернозем, кроме тяжелых глинистых его видоизменений. При обработке почвы следует обращать внимание на большую чувствительность люцерны к засорению сорными травами.

Неблагоприятными для люцерны являются злаковые травы, размножающиеся корневищами (например, пырей и кострец), которые, образуют из своих корневищ густую дернину и тем самым затрудняют проникновение в почву воздуха и атмосферных осадков, вытесняют люцерну, быстро заполняя своими побегами промежутки между ее кустами. Обрабатывать почву под люцерну рекомендуют с осени на большую глубину путем глубокой вспашки или при помощи почвоуглубителя, а весной проводить поверхностное рыхление почвы боронами.

Очень важно для успешного развития люцерны в первый год не иссушить почву подготовительными обработками, а по возможности накопить и сохранить влагу.

Люцерна сначала может не требовать удобрения, так как использует подпочву на большую глубину, чем злаки, обогащая верхний слой почвы за счет подпочвы минеральными веществами. Однако при дальнейшем возделывании люцерна, особенно если она дает несколько укосов в лето и выносит много питательных веществ из почвы, нуждается в удобрениях. Поэтому при закладывании люцерновых участков на продолжительный срок часто эффективно,

например, применять удобрение навозом. Во избежание засорения травостоев люцерны несеяными дикорастущими видами из-за избытка азота в навозе с последним одновременно рекомендуется вносить минеральные удобрения.

Серповидная, шведская, желтая люцерна (она же буркун), *Medicago falcata L.,* отличается от люцерны посевной (синей) *Medicago sativa* главным образом желтыми цветками и плодом, не свернутым спиралью, а согнутым серпом.

В диком виде люцерна серповидная произрастает в северных широтах Европы и Азии. Люцерна впервые введена в культуру в Швеции по указанию Линнея, который, судя по обширному распространению ее в северных местностях, предполагал, что она окажется менее требовательной к климату и почве растением (Прянишников, 1945).

В настоящее время шведская люцерна рекомендуется для возделывания в западных странах на сухих каменистых почвах, а в России представляет интерес для регионов юго-востока.

Продуктивность люцерны серповидной гораздо меньше, чем люцерны посевной (синей). После укоса люцерна серповидная отрастает медленно, но в то же время характеризуется долголетием, особенно при улучшении условий питания растений за счет сбалансированного удобрения (Прянишников, 1945; Вавилов, Балышев, 1984).

1.2. Эффективность инокуляции люцерны клубеньковыми бактериями

Большое значение фиксации молекулярного азота строится на высоком уровне питания растений, которое зависит от обеспеченности растений усвояемыми формами азота. Основное накопление фиксированного азота из воздуха осуществляется за счет биологической азотфиксации.

Биологическая азотфиксация — это усвоение молекулярного азота азотфиксирующими микроорганизмами с образованием соединений азота, доступных для использования другими организмами. Из всего многообразия микроорганизмов к азотфиксации способны лишь представители прокариот (Кретович, 1994). Процесс восстановления молекулы азота и включения её в состав

своей биомассы осуществляется прокариотными микроорганизмами, которые могут в свою очередь существовать как свободноживущие почвенные микроорганизмы, так и в симбиозе с растениями.

У бобовых культур фиксация молекулярного азота осуществляется в специальных расширенных образованиях (клубеньках), располагающихся на корнях. В корневую систему бобовых культур инфицируют специфические бактерии, образующие на ней клубеньки. Между бактериями и растениями устанавливаются симбиотические отношения.

Бактерии питаются органическими соединениями, синтезированными растениями, а растения получают из клубеньков связанные соединения азота (Рыжкова, 1971; Садыков, 1989; Симаров, 1990; Умаров, 1986; Широких и др., 2007; Яковлева, 2007; Система ведения сельского хозяйства, 2017; Технология …, 2014).

Одним из первых ученых клубеньковые бактерии у бобовых культур открыл в 1866 г. почвовед М.С. Воронин. С этого момента стали развиваться микробиологические исследования клубеньковых бактерий. Так же были проведены и генетические исследования клубеньковых бактерий многими отечественными и зарубежными учеными (Шашко, 1961; Конюхов, 1963; Тихонович, 1998; 1999; Чундерова, 1980; Федоров, 1951; 1952: 1987; Шеуджен, 2007; Шурхно, 2004; Bell, Nutman, 1971; Knigt, 1988; Belimov, 1995).

Клубеньковые бактерии — это микроорганизмы, обитающие в специальных расширениях корней (клубеньках) у растений семейства бобовых. Клубеньковые бактерии отдельных растений отличаются друг от друга, в связи с чем род *Rhizobium* следует рассматривать как целую группу родственных микроорганизмов.

Систематика этих бактерий строилась на специфичности, проявляемой по отношению к разным видам бобовых (Доросинский, 1989).

Среди клубеньковых бактерий выделяют 5 родов: *Azorhizobium*, *Mesorhizobium*, *Rhizobium*, *Sinorhizobium* (быстрорастущий) и *Bradyrhizobium* (медленнорастущий). В происхождении бобово-ризобиального симбиоза важную

роль сыграли растения–хозяева, которые обеспечили возникновение и эволюцию симбиотических признаков в неродственных группах бактерий.

Клубеньковые бактерии обеспечивают бобовое растение азотом, который фиксируют из воздуха. Растения поставляют клубеньковым бактериям продукты углеводного обмена и минеральные соли, необходимые для их роста и развития. Клубеньковые бактерии могут усваивать различные углеводы. В процессе ассимиляции углеводов некоторые бобовые культуры образуют кислоты, в том числе и органические кислоты. Калий, кальций и другие элементы они получают из неорганических веществ.

Клубеньковые бактерии лучше развиваются, если в среде имеются витамины группы В. Ряд витаминов (тиамин, В12, рибофлавин) ростовые вещества (гетероауксин, гиббереллины, цитокинины) эти бактерии синтезируют сами (Яковлева, 2007).

Вирулентность бактерий оказывает большое влияние на процесс образования клубеньковых бактерий. Под вирулентностью следует понимать способность образования клубеньковых бактерий. Активное усвоение азота клубеньковыми бактериями происходит после инфицирования растения вирулентной культурой *Rhizobium,* которая должна быть конкурентоспособной в почве и не угнетаться другими микроорганизмами.

Главным свойством клубеньковых бактерий является их способность в симбиозе с бобовыми растениями усваивать молекулярный азот. В почве могут быть штаммы клубеньковых бактерий эффективные, неэффективные и переходные между ними. Заражение бобовых растений эффективными штаммами клубеньковых бактерий способствует активной фиксации азота. Неэффективный штамм дает возможность образовать клубеньки, но фиксация азота в них не происходит. Эффективность клубеньковых бактерий зависит от влияния внешних условий.

Клубеньковые бактерии образуются активными и неактивными культурами *Rhizobium,* могут различаться по ряду признаков. Основным признаком является разное расположение клубеньков по корневой системе растений. Активные

клубеньковые бактерии формируют значительное количество клубеньков на главном корне. И отличаются от неактивных клубеньков ярко розовой окраской (Кретович, 1994).

Активно фиксируют молекулярный азот только те клубеньки, которые содержат леггемоглобин (фитоглобин). Леггемоглобин – водорастворимый белок, близкий к гемоглобину крови. В азотфиксирующих клубеньках его содержится около 4 % от сухой массы (Яковлева, 2007). Отмечается прямая зависимость между содержанием леггемоглобина в клубеньках и их азотфиксирующими свойствами. Поэтому содержание леггемоглобина в клубеньковых бактериях является одним из основных показателей их азотфиксирующей активности.

Максимальное формирование клубеньковых бактерий в ризосфере бобовых растений наблюдается в фазе бутонизации и цветения. В этот же период наблюдается наивысшая азотфиксирующая активность клубеньковых бактерий. Фитоглобин является особым органическим соединением. Синтез его белкового компонента происходит в высшем растении.

От клубеньковых бактерий к растениям поступает сигнал о начале соединения леггемоглобина. Этот сигнал поступает только активными азотфиксирующими клубеньками. Содержание леггемоглобина является индикатором эффективности симбиоза клубеньковых бактерий и растений: чем более интенсивную розовую или красную окраску имеют клубеньки, тем активнее они способны фиксировать молекулярный азот. (Мишустин, Шильникова, 1968; 1973).

Основоположник отечественной агрохимии и сторонник широкого использования биологического азота в земледелии академик Д.Н. Прянишников сравнивал бобовое растение с миниатюрным заводом по утилизации атмосферного азота, работающего за счет солнечной энергии. Благодаря эффективному использованию световой энергии, бобовые растения потребляют для синтеза белка меньше энергии, чем другие виды растений.

Клубеньковые бактерии и бобовые растения формируют бобово-ризобиальный симбиоз, который можно представить в виде трех основных стадий:

1 – прединфекция, 2 - инфекция и формирование клубеньков, 3 – функционирование клубеньков. В первой стадии происходит накопление клубеньковых бактерий в корневой системе бобового растения и прикрепление к корневым волоскам.

На второй стадии клубеньковые бактерии формируют клубенек. В третьей стадии происходит восстановление молекулярного азота до ионов аммония, которое происходит в измененных по форме и увеличенных в размерах клетках клубеньковых бактерий.

Большинство исследований показывают, что эффективность различных штаммов клубеньковых бактерий зависит от экологических и климатических условий.

В независимости от количества клубеньковых бактерий в ризосфере бобовых культур, число активных азотфиксирующих бактерий снижается вместе с понижением влажности почвы. Переувлажнение почвы так же негативно влияет на число активных клубеньковых бактерий в ризосфере растений, поэтому нужно отметить важную роль влажности почвы.

Значение в инокуляции этого фактора подчеркивались рядом исследователей (Кишиневский, 1966; Еловская, 1964; 1987; Патыка, 1997; Воробьев; *Wilson*, 1993). Наиболее благоприятным условием увлажнения почвы для формирования активных клубеньковых бактерий принято считать влажность почвы в интервале 60-70% от полной влагоемкости.

Главным симбиотическим свойством клубеньковых бактерий является их конкурентоспособность. Под конкурентной способностью штамма *Rhizobium* считают его возможность приспосабливаться к почвенной среде, конкурировать с почвенными клубеньковыми бактериями и образовывать на корнях растения–хозяина большее количество клубеньков по сравнению с другими штаммами. Основным показателем конкурентоспособности штамма является объем полученных клубеньков, который выражают в процентах от общего числа клубеньков.

Связь клубеньковых бактерий и бобовых растений особенно зависит от температурного режима почвенной среды.

Главную роль во взаимоотношениях клубеньковых бактерий и бобовых растений играет температурный режим. Отношение к температуре определяется видовыми и сортовыми особенностями растений. Для большинства бобовых культур наиболее эффективный симбиоз создается при температуре ризосферы в пределах 20-24 ºС, а низкие температуры тормозят развитие клубеньков.

Реакция почвы оказывает большое влияние на образование клубеньков и жизнедеятельность клубеньковых бактерий. Так же известно, что клубеньковые бактерии люцерны способны существовать при реакции почвы с интервалом pH 7-7,5.

Щелочная реакция почвы более благоприятно влияет на формирование клубеньковых бактерий, чем кислые почвы. При размножении клубеньковые бактерии образуют кислоты, что вполне может оказывать защиту против неблагоприятной почвенной реакции.

Инокуляция семян бобовых растений высокоэффективными штаммами клубеньковых бактерий без внесения минерального азота, при создании оптимальных условий для роста и развития растений может полностью обеспечить бобовые культуры, симбиотически связанным азотом (Доросинский, 1970; Кожемяков, Доросинский, 1990; Кожемяков, 2011).

По литературным данным известно, что использование минерального азота при возделывании бобовых культур не оказывает отрицательного действия на симбиотическую азотфиксацию, и способствует получению высоких урожаев (Посыпанов, 1974, 1991; Гукова, 1963; Васюк, 1976; 1978; Воробейников, 1998).

Наиболее целесообразно внесение небольших доз минерального азота, необходимого для первых этапов развития бобового растения до начала симбиотической азотфиксации (Доросинский, 1989; Минеев, Ремпе, 1990;). При этом в расчете на 1 гектар достаточно 15-30 кг действующего вещества. Внесение азотных удобрений необходимо в связи с тем, что использование минерального азота происходит, главным образом, в первой половине вегетации растений, а

максимум симбиотической азотфиксации приходится на период бутонизации-цветения.

1.3. Формирование урожая люцерны в зависимости от условий возделывания

Потребность люцерны в удобрении определяется ее биологическими особенностями (многолетие, укосность, симбиотическая азотфиксация, повышенная усвояемость корневой системы), экологией (многолетняя мерзлота, влагообеспеченность, засоление, тип почвы и ее плодородие), а также целевым использованием травостоя.

В интенсивной агрикультуре суммарный вынос люцерной основных элементов питания с единицы площади значительно выше, чем у злаковых трав и зерновых культур, что связано с повышенной потребностью ее в удобрении (Кожемяков, 1982; 1998; 2005; Кутузова, 1975; Кутузова и др., 2021; Демин, 1989; Егоров, 1960; 1962; Завалин, 1997; 2005, 2007; Справочник, 1976; Hardarson, Jones, 1979; Knight, Langston-Unkefer, 1988; Msfield, 1961). Кроме того, посевы люцерны потребляют значительное количество других элементов питания: серы, молибдена, бора, меди, марганца и др. Глубоко проникающая корневая система люцерны хорошо усваивает подвижные формы макро- и микроэлементов из нижних почвенных горизонтов (Денисов, 2001). На формирование 1 кг абсолютно сухого вещества надземной массы люцерна потребляет: азота – 2,4 кг, фосфора – 0,6-0,7, калия – 1,5-1,7 и кальция – 2,6-2,8 кг. В среднем, за пять лет использования при выращивании на орошаемых темно-каштановых почвах с урожаем сена 113 ц/га люцерна выносит 359 кг/га азота, 56 фосфора и 182 кг/га калия.

Наибольшее влияние на рост, развитие и продуктивность люцерны оказывает фосфор, высокая потребность в котором проявляется у молодых растений, произрастающих в межфазный период всходы – начало бутонизации.

Потребность люцерны в азоте в условиях орошения незначительная, так как до 70-72% она удовлетворяется за счет фиксации клубеньковыми бактериями и лишь 28-30% азота растения люцерны усваивают из почвы и минеральных

удобрений. (Петербургский, 1965; Петерсон, 1993; 1994; Голобородько, Лазарев, 2009).

В целом, люцерна, являясь высокопродуктивной культурой, требует большого количества элементов питания (Дмитроченко,1973; 1975; Минеев, Ремпе, 1990; Демарчук, 1998; Широких, 2007; Бекузарова и др., 2008). В то же время мерзлотные таежные почвы бедны доступными растениям формами азота, фосфора, поэтому нуждаются в минеральных удобрениях.

Минеральные удобрения под семенники люцерны применяют под основную (осенью) и предпосевную культивацию (летом), а также в подкормках весной. Дозы удобрений рассчитывают исходя из потребности растений и наличия питательных веществ в почве (Посыпанов, 1983, 1984; Кидин, 2012; Муравин, Титова, 2010). Наиболее эффективным и рациональным способом является внесение гранулированного суперфосфата в дозе 50-60 кг/га д.в. в рядки одновременно с посевом семян люцерны, так как в ранние фазы роста наиболее сильно потребность люцерны в фосфоре проявляется в период от прорастания до появления 6-7-го листа. При этом гранулированного суперфосфата, внесенного в рядки, требуется в 5-6 раз меньше, чем при внесении вразброс.

В первый год жизни, пока развивается корневая система люцерны и на ней образуются клубеньки с азотфиксирующими бактериями, культура очень нуждается в азотном питании. Исследованиями Якутского НИИСХ установлено, что внесение полного минерального удобрения (60 кг/га д.в.) под предпосевную обработку почвы увеличивало урожайность зеленой массы люцерны в первый год жизни до 264 ц/га, или на 55% по сравнению с контролем.

В условиях мерзлотных таежных палевых лесных среднесуглинистых почв на неорошаемой пашне рекомендуется вносить под основную обработку фосфорные удобрения на фоне азотно-калийных.

На мерзлотных таежных среднесуглинистых почвах, более бедных по плодородию, положительное влияние минеральных удобрений на урожайность семян более сильно проявляется при орошении. При возделывании люцерны на

семена на фоне орошения наиболее эффективны повышенные дозы минеральных удобрений.

При возделывании люцерны целесообразно ежегодно вносить удобрения в виде подкормок. Эффективны весенние подкормки люцерны минеральными удобрениями, так как весной в почве создается наибольший запас влаги. Однако начиная с третьего года жизни люцерны должны преобладать фосфорно-калийные удобрения. При подкормках удобрения заделывают под молодую люцерну второго года жизни средними боронами, под старовозрастную, начиная с третьего года и в последующие годы жизни - дисковым лущильником.

Как было отмечено ранее, бобовые культуры обладают уникальной способностью фиксировать азот воздуха и переводить его в более доступные для растений соединения. На почве, обогащенной азотом, дозы применяемых азотных удобрений могут быть снижены.

В Якутском НИИ сельского хозяйства в 1997-2000 гг. М.Т. Яковлевой (2007) были проведены исследования по изучению продуктивности и качества люцерны серповидной в зависимости от применения азотфиксирующих микроорганизмов условиях Центральной Якутии.

Исследования показали, что применение минерального азота в дозах N_{30} и N_{60} в комплексе с производственным штаммом клубеньковых бактерий 412б при инокуляции семян люцерны положительно влияли на продуктивность люцерны, формирование корневой системы, массу и количество клубеньков. Данный способ повысил урожайность зеленой массы люцерны с 4,46 до 4,61 т/га, количество активных клубеньков увеличилось с 60 до 320 штук/растение. Комплексное применение азота в приведенных дозах и клубеньковых бактерий обеспечивали благоприятные условия для активной деятельности симбиотического аппарата люцерны серповидной в течение всего вегетационного периода.

1.4. Влияние удобрений на устойчивость многолетних травостоев

Продуктивность многолетних трав сенокосного и пастбищного использования подвержена колебаниям по годам и зависит от многих факторов, от

чего зависит возможность планирования и обеспечение получения ожидаемых урожаев. При этом необходимо учитывать состояние окружающей среды, т.к. деградация кормовых угодий может привести к развитию деструктивных процессов в почве и снижению биоразнообразия

В связи с этим возникает важная агроэкологическая задача, которая состоит в том, чтобы не только постоянно повышать тренд урожайности, но и регулировать её колебания, создавая многолетние агросистемы (Кутузова, Зотов, Привалова, Тебердиев и др.,2015; Peeters A., 2012).

Если принять во внимание не только урожайность первых укосов в начале использования травостоев, но и продуктивное долголетие при минимуме затрат на поддержание угодья, то следует отметить, что между видами существует определённое равновесие (экологический гомеостаз), поддерживающее стабильность в системе и не позволяющее ей деградировать (Parente, Bovolenta, 2012).

Снижение видового разнообразия представляет угрозу функционированию и стабильности (устойчивости) экосистемы. При этом высокая степень биоразнообразия препятствует вымыванию азота из почв и деградации последних. Однако, количественный рост любой популяции, в том числе и наиболее продуктивных видов, противопоставляется устойчивости системы.

В современных условиях при составлении травосмесей предлагается соблюдать следующие принципы. Экологический принцип требует принятия во внимание характерных природных факторов конкретного экотопа; хозяйственный – учитывать способ и интенсивность использования угодья; биологический принцип указывает на долголетие видов растений. Для выполнения геоботанического принципа следует учитывать возможность совместного произрастания видов и сортов растений без значительного подавления и вытеснения одних другими. Хозяйственно-биологический принцип обусловлен различиями в темпах развития растений и наступлении хозяйственной спелости (Афанасьев, 2021).

В бобово-злаковых травостоях за счёт различных типов корневых систем более полно и эффективно используются влага и питательные вещества, быстрее восстанавливается и лучше сохраняется структура почвы. Также смешанные травостои менее подвержены инвазии сорняков, вредителей и накоплению возбудителей болезней. Немаловажно и снижение потери листовой части в травосмесях при уборке на сено (Кутузова, Зотов, Привалова, Тебердиев и др., 2015).

Простые агрофитоценозы применяют для создания краткосрочных травостоев из быстроразвивающихся видов трав, дающих высокие урожаи в первые 3-5 лет пользования. Обычно сложные травосмеси высеивают на долголетних культурных пастбищах и эрозионно опасных склонах, и они бывают более долговечны и высокоурожайны. Адаптированные к конкретным местным условиям сочетания видов дают прибавку урожайности на 23-69% по сравнению с травосмесями, обычными для данной природной зоны. Смешанные агроценозы также дают более сбалансированный по содержанию основных веществ корм (Парахин, Кобозев, Горбачев, Лазарев. Михалев, 2006).

Изменчивость ботанического состава травостоя представителей различных хозяйственно-ботанических групп включает их функциональное, родовое и видовое разнообразие (Eilts, Mittelbach, Reynolds, Gross, 2011). Популяции и сорта, обладающие высокой гетерозиготностью, имеют и более широкий спектр адаптивных реакций на изменения среды. Поэтому полиплоидия – существенный фактор повышения стрессоустойчивости, что подтверждается увеличением числа полиплоидных форм по мере удаления от основных центров происхождения культур и доли их участия в фитоценозах более суровых мест обитания.

В частности, люцерна посевная и её подвиды – естественные автополиплоиды. Современные сорта люцерны отличаются высокой фитоценотической устойчивостью, в том числе при частом скашивании, и даже на 11-13 годы жизни дают 5,7-6,7 т/га сухой массы.

Основное применение травосмесей связано с продлением продуктивного долголетия посевов многолетних трав с повышенной урожайностью и

устойчивостью к внедрению аборигенных видов, что позволяет экономить ресурсы. Луговые сообщества эволюционно адаптированы к систематическому отторжению биомассы и сезонному использованию. Для того чтобы избежать конкурентно-антагонистических эффектов важно знать и прогнозировать относительную конкурентную мощность видов применительно к тем экологическим условиям и ситуациям, для которых травостои конструируются (Куркин К.А., 1983). При подборе компонентов травосмеси надо стремиться к некому фитоценотическому балансу. Сильное влияние на устойчивость травостоев оказывает нарастание сенильного состояния компонентов. Ценотические особенности многолетних трав в бобово-злаковых смесях определяются биологическими свойствами видов и числом компонентов в них. При этом биоценозы со сложной структурой требуют меньше энергии на ее поддержание. Мозаичный травостой позволяет обеспечить высокую продуктивность рыхлокустовых злаковых трав, разделяет бобовые и злаковые виды по экологическим нишам, увеличивает долевое участие в урожае и устойчивость бобовых трав, снижает межвидовую конкуренцию (Porensky, 2012.)

Существенный фактор, регулирующий ботанический состав луговых угодий – минеральное питание. Применение азотных удобрений оказывает значительное влияние на ботанический состав травостоев, увеличивая в них долю корневищных растений, преимущественно злаков, в том числе пырея ползучего и др. Под влиянием удобрений происходит направленное изменение условий произрастания луговых растений, приводящее к доминированию ценных видов. Это свойство луговой растительности может быть эффективно использовано в технологиях поверхностного улучшения. Темпы отрастания отавы в бобово-злаковых травосмесях были значительно выше, по сравнению с одновидовыми посевами злаковых, что обусловлено улучшенным азотным питанием за счёт симбиотического аппарата (Кутузова, 1975).

В настоящее время большое внимание уделяется использованию более сложных, многокомпонентных травосмесей. Благодаря положительной сукцессии между бобовыми компонентами с различными темпами развития в двойных

бобовых и тройных бобово-злаковых травосмесях с клевером луговым можно обеспечить высокую и устойчивую по годам продуктивность от 8 до 11 т/га сухого вещества.

Доля ценного компонента в составе травостоя при длительном использовании определяется комплексом факторов - межвидовой и межгрупповой конкуренцией, абиотическими условиями местообитания и особенностями режима использования.

С посевов люцерны получают высокоценные корма для сельскохозяйственных животных. Люцерна, относясь к бобовым растениям, при возделывании на сенокосах и пастбищах в смешанных посевах со злаковыми видами повышает качество кормов и к тому же служит ценным медоносом.

Сено люцерны, согласно В.В. Кидину (2012), отличается высокой питательной ценностью, содержит до 25% сырого протеина, 30% безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ), 23-27% сырой клетчатки, 60-80 мг/кг каротина.

При сравнении с многолетними злаковыми видами трав люцерна имеет более высокое содержание протеина (18–25%), кальция (0,9–1,5%), магния (0,2–0,3%), меди, кобальта, других микроэлементов и незаменимых аминокислот (лизина – 2,8 г/кг, метионина - 1,0–2,0 г/кг и т.п.).

В связи с этим при скармливании люцерны животным получают мясо-молочные продукты по качеству значительно выше, чем при кормлении злаковыми или люцерно-злаковыми кормами. Отсюда продукты из мяса и молока превосходят по качеству произведённые от животных, кормящихся на люцерно–злаковых травостоях (Андреев, 1972; Triplett, 2008).

По отечественному и международному опыту, люцерну выращивают на зеленый корм, сено, сенаж в одновидовых посевах и в составе люцерно-злаковых травосмесей на пахотных землях, а также на различных типах природных кормовых угодий. Бобовые травы, как отмечалось ранее, служат незаменимым источником кормового белка. В сухой массе бобовых трав, убранных в фазу цветения, содержится до 18,4% сырого протеина, 3,1 - жира, 27,8 - клетчатки, 41,9 - безазотистых экстрактивных веществ, 8,8% золы. Благодаря оптимальному

сочетанию бобовых трав со злаковыми получают корма, сбалансированные по содержанию переваримого протеина (Lotti, 1991).

Бобовые растения, прежде всего люцерна, обладают способностью в симбиозе с клубеньковыми бактериями фиксировать азот и тем самым обеспечивают себя этим элементом питания, что исключает или значительно снижает использование азотных удобрений (Lotti, 1991; Jennings, 2002; Moore, 2004).

При внесении под бобовые культуры минерального азота возможны негативные последствия, связанные с подавлением симбиотичесого аппарата растений. При этом имеющийся практический опыт как в нашей стране, так и за рубежом свидетельству о положительном балансе азота от общей его потребности в полевом и луговом кормопроизводстве, который достигается благодаря фиксированму симбиотическому азоту многолетними бобовыми травами, а также обоснованному применению минеральных и органических удобрений (Кутузова и др., 2015; Лукин, 2005; Horrocks, 1997; Benjamin, 2004; Sanderson, 2005).

1.5. Особенности применения удобрений под люцерну и влияние их на агрохимические свойства почвы

При использовании удобрений под люцерну важно учитывать агроклиматические условия региона (Иванов, Винокурова, Игнатьева, 2008). В Якутии территория для возделывания сельскохозяйственных культур находится между 56 и 64˚ северной широты, в зоне рискованного земледелия. Для районов высоких широт характерным является низкий уровень поступления солнечной энергии и короткий, до 60-90 дней, вегетационный период, жесткие условия перезимовки растений, Несмотря на короткий вегетационный период растения в определенной мере обеспечены теплоэнергетическими ресурсами за счет летнего удлинения светового дня и расширения спектра солнечной энергии, поглощаемой северными растительными организмами.

Территория Якутии покрыта вечномерзлыми породами глубиной от 100 до 600 м. В летний период мерзлота оттаивает на 1,5-2,5 м, и в этом слое происходит

развитие сезонных биологических и химических процессов. Мерзлотные почвы летом прогреваются довольно слабо, и на глубине 10 см активная температура +10˚С наблюдается только в середине лета, в июле. Характерные для региона поздневесенние и раннеосенние заморозки сокращают период вегетации растений, что влечет за собой снижение урожайности возделываемых культур до 30-40%. Зерновые культуры в этих условиях часто не в состоянии достичь восковой спелости зерна, поэтому их убирают на зеленую массу.

Для мерзлотных почв характерна низкая биохимическая активность, что замедляет темпы разложения органического вещества, обусловливает недостаток минерального азота даже при достаточном содержании гумуса.

В мерзлотных почвах наблюдается дефицит влаги, что ограничивает продуктивность трав и других культур. Растительный покров в этих условиях существует только благодаря толще мерзлоты, которая не пропускает влагу скудных атмосферных осадков на глубину, сохраняя ее в талом слое. Низкая биопродуктивность мерзлотных экосистем снижает их способность к самоочищению и повышает экологические риски.

Согласно данным агрохимслужбы (Консультативное агрохимическое обслуживание … (2005); Иванов, Винокурова, Игнатьева, 2008), в земледелие Якутии вовлечены мерзлотные таежные палевые почвы, развитые на 55% от общей площади пашни. В таких почвах содержится от 2 до 6% гумуса, от 45 до 150 мг/кг фосфора (P_2O_5), от 100 до 200 мг/кг калия (K_2O) при щелочной реакции среды (pH от 7,5 до 8,2).

Для воспроизводства плодородия мерзлотных таежных палевых почв большое внимание уделяется рациональному применению удобрений. Использование минеральных удобрений на таких почвах должно дополняться обогащением их биологическим азотом, или посевом бобовых растений в качестве кормовых культур с проведением инокуляции семян бактериальными препаратами. Эти приемы особенно важны при испытании новых видов бобовых культур, в частности люцерны серповидной.

Люцерна, развивая мощную корневую систему, использует влагу и питательные элементы не только из верхних, но и из глубоких слоев почвы. Подсчитано, что за первые годы жизни люцерна накапливает до 5-7 т/га сухой корневой массы. При ее минерализации в почве остается в среднем 180-200 кг/га и более, а при орошении до 300 кг/га симбиотически связанного азота.

Благодаря азотфиксирующей способности клубеньковых бактерий люцерна на почве с благоприятной реакцией среды при pH 7-8 полностью обеспечивает себя азотом. В связи с этим азотные удобрения могут положительно влиять на продуктивность люцерны в основном в начальный период ее роста, когда применяются стартовые дозы азота. По экономии минерального азота, достигающей 200-250 кг/га, люцерна в одновидовом посеве превосходит клевер луговой, у которого этот показатель находится на уровне 80-120 кг.

Эффективность применения азотных удобрений в значительной мере зависит от условий влагообеспеченности. Дополнительное азотное питание рекомендуется вносить дробно во избежание вымывания, а также для регуляции периодов активного роста. В то же время при дефиците азота усиливается транспирация, т.к. в клетках снижается количество водоудерживающих белков. Вследствие сниженной оводнённости тканей формируются мелкие, ксероморфные листья. Минерализация азота почвы наиболее активно идёт в самые засушливые месяцы и снижается при выпадении осадков (Zhang, 2012). Интенсивное применения удобрений, изменяя микробное сообщество, существенно влияет на уровень минерального питания растений и формирование урожая. Поэтому рекомендуется использовать как средство реализации плодородия почвы не высокие дозы удобрения, а средства оптимизации биогенных процессов почвы, отвечающих за воспроизводство её плодородия без негативных изменений микробного сообщества. Применение минеральных удобрений значительно увеличивает актуальную микробиологическую активность почвы. В то же время вследствие антропогенного изменения почва может утратить свои экологические функции, в том числе способность иммобилизовать тяжелые металлы токсины (Минеев, 1990).

В присутствии азотных удобрений симбиотическая активность бобовых, а иногда и их доля в травостое значительно снижается (Кутузова, 1975).

Некоторая часть используемого злаковыми травостоями азота поступает из воздуха благодаря деятельности ассоциативных азотфиксаторов. Отмечается, что ризобиальная и двойная инокуляция семян бобовых трав активизирует фотосинтетическую деятельность культур более чем на 30%, что приводит к повышению урожайности и кормовых качеств. Применение инокуляции повышает урожайность бобовых растений. Использование комплементарных заводских штаммов приводит к увеличению накопления азота в почве под ними на 100 кг/га и более (Завалин, Благовещенская, Кожемяков, 2007).

Наибольшее число клубеньков на корнях люцерны при краткосрочном использовании наблюдается на второй год жизни. За три года пользования травостоями из общего выноса азота урожаем надземной массы люцерны и её смесей с тимофеевкой около 80% приходится на симбиотический. На третий год пользования люцерно-злаковые травостои накапливают в надземной массе на 56-86% больше биологического азота, чем клеверо-злаковые.

Количество фиксируемого азота при инокуляции клевера и люцерны эффективными, комплементарными штаммами может достигать 400-600 кг/га. При этом современная наука ориентирована на параллельную селекцию всех компонентов симбиотического взаимодействия: и растений, и микроорганизмов. Часто отмечается эффект гетерозиса в форме повышения комбинационной способности по продуктивности сухого вещества, накоплению азота. Экспериментально выявлена сортовая специфичность гибридов и сортов клевера по отношению к штаммам инокулянта, идёт подбор сорто-микробных комплексов для параллельной селекции по аналогии с параллельной коэволюцией в естественных условиях (Парахин, Кобозев, Горбачев, Н.Н Лазарев, Михалев, 2006).

Из минеральных удобрений на продуктивность люцерны большее влияние оказывают фосфорные удобрения и их сочетания с калийными при оптимизации доз внесения. Отмечается также улучшение условий питания растений люцерны от

применения микроудобрений, содержащих в первую очередь молибден и бор (Кидин, 2012).

Действие и последействие удобрений в северных условиях, в частности на мерзлотных таежных палевых почвах, в настоящее время слабо изучено. Однако имеющиеся данные в этом отношении свидетельствуют о большой роли удобрений в формировании урожая люцерны и следующих за ней сельскохозяйственных культур.

По результатам факториального опыта, проведенного в Центральной Якутии на мерзлотной таежной палевой почве (Степанов, 2016), установлено положительное воздействие удобрений на гумусовое состояние почвы, причем лучшие результаты были достигнуты от применения органоминеральных систем удобрения.

Эта закономерность была характерной как в год действия, так и в первые два года последействия применяемых удобрений. Удобрения, внесенные в органоминеральном варианте в дозах N60P60K60+13 т/га навоза ежегодно, по сравнению с неудобренным контролем и другими вариантами опыта увеличивали содержание общего азота и гумуса в мерзлотной таежной палевой почве, улучшали азотный, фосфатный и калийный режимы. При этом реакция почвенной среды практически не зависела от исследуемых вариантов вносимых удобрений, и величина pH находилась во всех вариантах полевого опыта на уровне контрольных значений.

В Республике Якутия (Саха), где ведущей отраслью сельского хозяйства является животноводство, а развитие земледелия усложнено из-за неблагоприятных природных условий, большое внимание уделяется проблеме сохранения и повышения плодородия мерзлотных почв. Большая роль при этом отводится систематическому проведению почвенно-агрохимического мониторинга.

Результаты мониторинга показывают (Консультативное агрохимическое обслуживание …, 2005), что за годы интенсивного применения средств химизации на 1 га пашни вносилось 59 кг д.в. минеральных удобрений и 6 т/га – органических,

что позволило значительно улучшить агрохимические свойства почв. Затем, в силу объективных причин наблюдалось резкое снижение применения удобрений – минеральных до 2,5 кг/га д.в., органических – до 0,9 т/га, которое повлекло за собой падение содержания в почвах гумуса и питательных элементов.

На основе данных почвенного обследования агрохимслужбой была четко определена положительная роль органических и минеральных удобрений в оптимизации минерального питания растений, а также в улучшении агрохимических свойств мерзлотных почв и повышении продуктивности возделываемых культур.

Таким образом, обзор литературных материалов по эффективному применению средств химизации при возделывании люцерны, особенно люцерны серповидной, показывает, что работы в этом направлении имеют ограниченный характер, в связи с чем необходимы научные исследования по оптимизации систем удобрения под эту ценную кормовую культуру с учетом активной деятельности ее симбиотического аппарата в целях улучшения почвенного плодородия, повышения урожайности и качества растительной продукции, стабилизации роста продуктивности по годам пользования травостоем.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Глава 2. Условия и методика исследований

2.1. Агрометеорологические условия

Главной особенностью климата Центральной Якутии является резкая континентальность, которая проявляется в больших годовых колебаниях температур и недостаточном количестве выпадающих осадков. Зимний период в Центральной Якутии крайне суровый, и «холодный период» может длится до 9 месяцев. Длительность в день зимнего солнцестояния составляет 4 часа при полуденной высоте солнца 4°32 (Гаврилова, 1962; 1973). Зима в Центральной Якутии продолжительная, очень холодная и малоснежная, а лето короткое, сравнительно жаркое и засушливое. Отличается низкими температурами, большой продолжительностью (около 180 дней). В течение 7 месяцев (октябрь-апрель) средние отрицательные температуры имеют значения от -7, -8° до -40, -45°С. При этом абсолютные минимальные температуры могут достигать минус 62°С. Снежный покров на территории Центральной Якутии держится в течение 7 месяцев. Наибольшая высота снежного покрова в среднем достигает 27-35 см. Якутия находится в области распространения многолетнемерзлых пород, наличие которых имеет как положительные, так и отрицательные стороны. К положительным относится накопление воды над мерзлотным слоем. Мерзлая почва является как бы водоупором. В условиях засушливого лета это явление приобретает большое значение. При недостатке атмосферных осадков влага в почве может пополняться за счет оттаивания мерзлого почвенного слоя.

Лето в Якутии сухое и жаркое. Летние температуры достигают величин, не характерных на данных широтах. В летние месяцы из-за большой продолжительности дня, повышенной прозрачности атмосферы и полуденной высоты солнца значительно увеличивается приход тепла лучистой энергии, обусловливающий интенсивное прогревание земной поверхности и воздуха. Средняя температура самого теплого месяца равна 18-19°С, абсолютные

максимальные температуры достигают 35-38°С. Средняя июльская температура в Якутске 18,8°С. По высоким летним температурам Центральная Якутия не уступает некоторым лесостепным районам. Период активной вегетации растений в среднем составляет 90-95 дней, сумма средних суточных температур выше 10°С варьирует в пределах 1355-1458°С.

Несмотря на высокие температуры воздуха в летний период, средняя годовая температура составляет -10ºС. Это связано с тем, что теплый период короткий, а холодный длинный с экстремально низкими температурами.

Атмосферные осадки являются одной из важнейших характеристик климата. По количеству выпадающих осадков за год Центральная Якутия приближается к степным и полупустынным районам (200-300 мм).

В зимние месяцы в Центральной Якутии выпадает мало осадков (50 мм). В теплый период с развитием циклонической деятельности количество осадков увеличивается, достигая наибольшей величины в июле августе (43-50 мм). При этом на период активной вегетации растений (среднесуточная температура воздуха выше 10°С) приходится 110-115 мм осадков.

Погодные условия в годы исследований (2018-2022 гг.) представлены в таблице 1 и приложениях 5 и 6. Данные получены на метеостанции города Покровск Хангаласского района. Анализ показывает, что метеорологические условия были различными по годам полевого опыта. В 2018 и 2019 гг. температура воздуха приближалась к среднемноголетним данным. В 2020 г. наблюдалось повышение температуры в июне и в июле, но август был прохладнее, чем в остальные годы исследований.

Вегетационный период 2022 г. выдался очень жарким. Лето в июне начиналось с высоких температур. Жаркая погода продолжилась в июле и августе.

Таблица 1 - Агрометеорологические условия за годы исследований (2018-2022 гг.)

Сумма осадков, мм						
Год	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Сумма
2018	32,6	24,0	30,9	71,0	7,8	166,3
2019	14,0	28,0	29,0	53,0	48,0	172,0
2020	11,1	36,2	35,4	4,9	15,8	103,4
2021	10,3	10,3	31,2	30,5	30,4	112,7
2022	24,5	33,6	78,5	39,3	25,1	201,0
Средняя многолетняя	18,5	26,4	41,0	39,7	25,4	151,0
Температура воздуха, °С						
Год	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Среднее
2018	8,6	15,5	18,9	15,4	5,5	12,8
2019	7,9	17,3	18,1	14,6	6,4	12,8
2020	7,9	17,0	19,7	12,7	7,8	13,0
2021	8,2	18,3	19,9	16,9	6,9	14,0
2022	6,4	18,7	22,0	15,0	4,8	13,4
Средняя многолетняя	7,8	17,3	19,7	14,9	6,3	13,2
Гидротермический коэффициент						
Год	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Среднее
2018	0,4	0,5	1,4	1,1	0,0	0,7
2019	0,5	0,6	1,2	1,1	0,0	0,7
2020	0,0	0,5	0,2	0,9	0,0	0,3
2021	0,4	0,5	1,5	1,1	0,0	0,7
2022	0,0	0,3	1,3	0,8	0,0	0,5
Средний многолетний	0,3	0,5	1,1	1,0	0,0	0,6

Количество атмосферных 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 отношению к среднемноголетним данным.

2.2. Место, условия и методика исследований

Исследования проводились в Хангаласском улусе, на научном стационаре «Бэлэнтэй» лаборатории картофелеводства и агроэкологии ФГБНУ ЯНИИ сельского хозяйства с 2018 по 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: $pH_{водн}$ 8,6, pH_{KCl} 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 % (табл. 2).

Таблица 2 - Агрохимическая характеристика почвы опытного участка

Показатель	Содержание
$pH_{водн}$	8,6
pH_{kcl}	7,6
Гумус, %	2,7
NO_3, мг/кг	1,4
P_2O_5, мг/кг	170
K_2O, мг/кг	282
$N_{общ}$, %	0,35

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

Люцерна желтая или серповидная *(Medicago falcata* L.) распространена в естественных условиях в степных, горных, предгорных и пойменных

местообитаниях нашей страны. Это единственный вид люцерны, произрастающий в суровых условиях Якутии. Растет в бассейне верхнего и среднего течения Лены. На севере доходит до устья Алдана.

Люцерна Якутская желтая образует мощный многостебельчатый полуразвалистый куст. Стебли тонкие, восходящие, высокооблиственные в первый год жизни облиственность достигает до 80%, во второй – до 62%. Высота стеблей 45-80 см, при орошении 80-140 см. Кустистость мощная (30-50 стеблей). Хорошо развитая ветвистость имеет 15-17 междоузлий.

Листья тройчатые, округлояйцевидные, сильноопушенные. Соцветие – многоцветковая полушаровидная рыхлая кисть. Окраска венчика желто-оранжевая. Плод – многосемянный боб серповидной формы. Семена почковидные, средней крупности (ширина 1,5-2,0 мм, длина 2,5-3,0 мм), окраска желтая, коричневая (золотистая). Масса 1000 семян 1,7-2,1 г. Корневая система стержневая, сильно развитая, уходит в почву на глубину до 1 м, на боковых корнях в зависимости от мощности имеет от 40 до 200 клубеньков.

Биопрепарат клубеньковых бактерий был создан и депонирован у сорта люцерны серповидной Якутская желтая в 1999 г. в ЯНИИСХ.

Получены патенты на изобретение: № 2299188 «Способ повышения урожайности зеленой массы люцерны», зарегистрированный в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 20 мая 2007 г.; № 2537901 «Способ повышения содержания гумуса почвы с применением штамма клубеньковых бактерий Якутский №2 люцерны», зарегистрированный в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 13 ноября 2014 г.

Учеты и наблюдения выполнялись согласно общепринятым методикам и рекомендациям (Программа и методика …, 2011). Математическая обработка опытных данных проводилась по Б.А. Доспехову (1985). Учет урожая люцерны проводили укосным методом.

Анализы почвенных образцов выполнены общепринятыми методами (Агрохимические методы исследования почв, растений и удобрений, 1975). Определение агрохимического состава почвы проведено в лаборатории

переработки сельскохозяйственной продукции и биохимических анализов Якутского НИИСХ (Абрамов, 2007) и лаборатории агрохимслужбы.

Массовая доля азота определена по методу Къельдаля (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.

Общая площадь опытной делянки – 39,8 м^2, учетная площадь - 25 м^2. Общая площадь опыта – 3667,5 м^2.

Размещение вариантов последовательное со смещением.

Повторность вариантов в опыте четырехкратная.

Способ посева люцерны серповидной – широкорядный с расстоянием между рядками 30 см. Норма высева семян люцерны серповидной 6 кг/га.

Минеральные удобрения внесены согласно схеме опыта. Из азотных удобрений применяли мочевину $CO(NH_2)_2$ с содержанием 46% азота, из фосфорных – суперфосфат простой с содержанием 20% усвояемого P_2O_5, из калийных - сульфат калия с содержанием 46% K_2O.

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

Все удобрения внесены в 2018 г. вручную перед посевом люцерны. В последующие годы опыта изучали их последействие.

Схема полевого опыта включала следующие варианты:

1. Контроль (люцерна серповидная без обработки)
2. Контроль (злаковые многолетние травы)
3. Биопрепарат (БП)
4. $N_{60}P_{60}$
5. $N_{60}K_{60}$

6. $P_{60}K_{60}$

7. $N_{30}+P_{60}K_{60}$

8. $N_{60}+P_{60}K_{60}$

9. $N_{90}+P_{60}K_{60}$

10. $N_{60}K_{60}+P_{30}$

11. $N_{60}K_{60}+P_{90}$

12. $N_{60}P_{60}+K_{30}$

13. $N_{60}P_{60}+K_{90}$

14. БП+$N_{60}P_{60}$

15. БП+$N_{60}K_{60}$

16. БП+$P_{60}K_{60}$

17. БП +$P_{60}K_{60}$ +N_{30}

18. БП +$P_{60}K_{60}$ +N_{60}

19. БП +$P_{60}K_{60}$ +N_{90}

20. БП+$N_{60}K_{60}+P_{30}$

21. БП+$N_{60}K_{60}+P_{90}$

22. БП+$N_{60}P_{60}+K_{30}$

23. БП+$N_{60}P_{60}+K_{90}$

Глава 3. Влияние доз и сочетаний азотных, фосфорных, калийных минеральных удобрений и инокуляции семян на урожайность сена люцерны серповидной

3.1. Особенности роста и развития люцерны серповидной

В результате фенологических наблюдений, проведенных в первый год жизни люцерны серповидной Якутской желтой в 2018 г. 21 отмечены следующие даты фенофаз: посев 21 мая, первые всходы 4-13 июня, полные всходы 22 июня–9 августа, начало ветвления 25 июня–3 июля, начало бутонизации 31 июля, начало цветения 7 августа (табл. 3).

Таблица 3 - Фенологические наблюдения за ростом и развитием люцерны серповидной Якутской желтой

Фазы роста и развития	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2022 г.
Посев	21 мая	-	-	-
Начало всходов (отрастания)	4-13 июня	13 мая	21 мая	31 мая
Полные всходы (отрастание)	22 июня – 9 августа	6 июня	11 июня	14 июня
Начало ветвления	25 июня – 3 июля	17 июня	19 июня	6 июня
Начало бутонизации	31 июля	20 июня	24 июня	21 июня
Начало цветения	7 августа	27 июня	30 июня	29 июня

По наблюдениям за развитием люцерны серповидной в последующем, в течение второго, третьего и пятого годов жизни этой культуры (2019, 2020, 2022 гг.) были отмечены следующие даты фенологических фаз:

начало отрастания – 13-31 мая,

полное отрастание 6-14 июня,

начало ветвления 6-19 июня,

начало бутонизации 20-24 июня,

начало цветения 27-30 июня.

3.2. Влияние удобрений и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий на количество и массу клубеньков люцерны серповидной

Симбиотическим аппаратом у бобовых растений принято называть часть корневой системы с расположенными на ней клубеньками сложной азотфиксирующей структуры, включающей гипертрофированную ткань корня с бактериальными клетками.

При анализе влияния минеральных удобрений и биопрепаратов клубеньковых бактерий на образование клубеньков у люцерны серповидной в среднем за годы исследований (2019, 2020, 2022 гг.) было установлено (рис. 1), что максимальное их количество формировалось в варианте 3 с использованием биопрепарата и составляло 132 шт./растение при значении на контроле 97 шт./растение.

Из представленных на рис. 1 данных также видно, что минеральные азотные, фосфорные и калийные удобрения в различных дозах и сочетаниях и биопрепарата клубеньковых бактерий в большей мере повлияли на увеличение количества клубеньков у люцерны серповидной в 2019 г., т.е. на второй год ее жизни.

При этом более высокие показатели отмечены в варианте с биопрепаратом и варианте с совместным применением биопрепарата и полного минерального удобрения, но при низкой дозе азота (N_{30}).

В 2018 г., т.е. в год посева люцерны серповидной, в фазе цветения наибольшее количество клубеньков насчитывалось в варианте с применением биопрепарата на основе клубеньковых бактерий и составляло 260 шт./растение при контрольном значении этого показателя 182 шт./растение.

Минимальное количество клубеньков у растений люцерны серповидной формировалось в последний год полевого опыта (2022 г.), или на пятом году ее жизни. Большое значение в оценке работы симбиотического аппарата бобовых имеет масса клубеньков, образовавшихся на корнях растений. При оценке этого показателя по годам опыта (рис. 2) можно видеть его значительное варьирование.

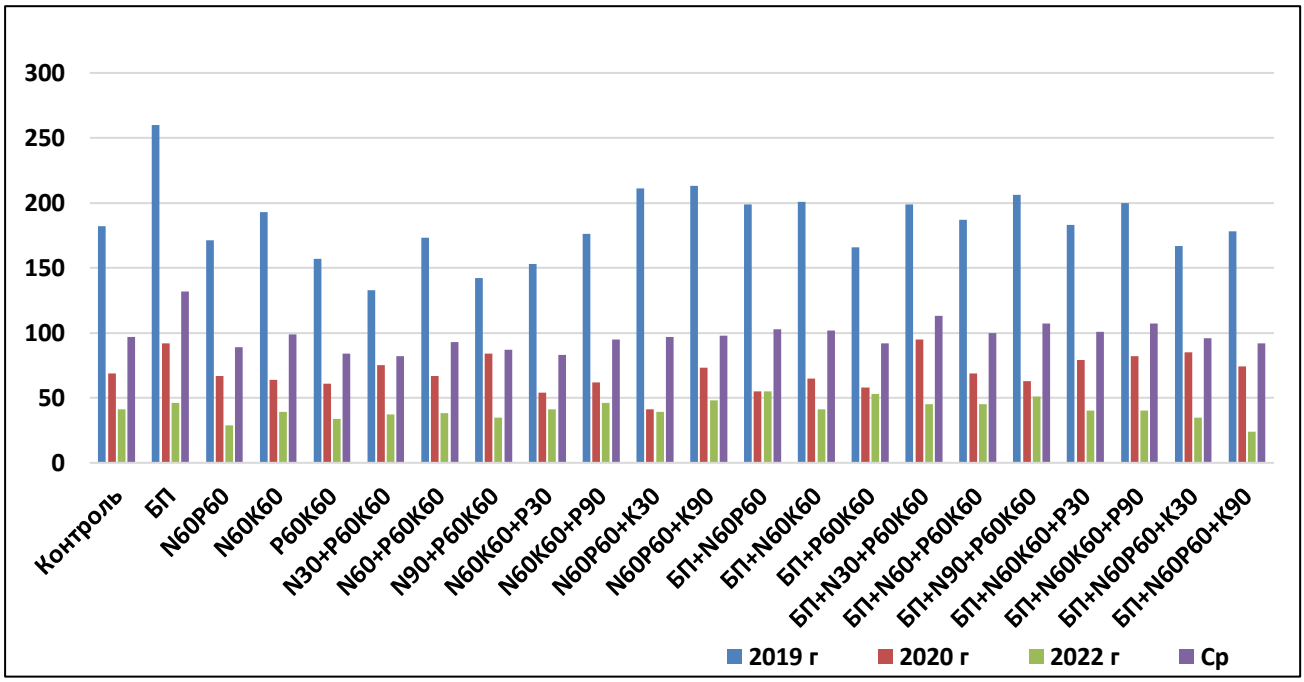

Рисунок 1 - Влияние минеральных удобрений и биопрепарата клубеньковых бактерий на количество клубеньков, шт./растение

($НСР_{05}$ в среднем за 3 года - 28 шт./растение)

В начале опыта у растений люцерны серповидной второго года жизни максимальная масса клубеньков отмечена в варианте с применением биопрепаратов на основе клубеньковых бактерий, составившая 0,55 г/растение, при значении на контроле 0,40 г/растение, т.е. в 1,4 раза выше.

Высоких значений – 0,45 г/растение - она достигала также в вариантах минеральных удобрений с дозами N_{60} $P_{60}K_{30}$ и N_{60} $P_{60}K_{90}$.

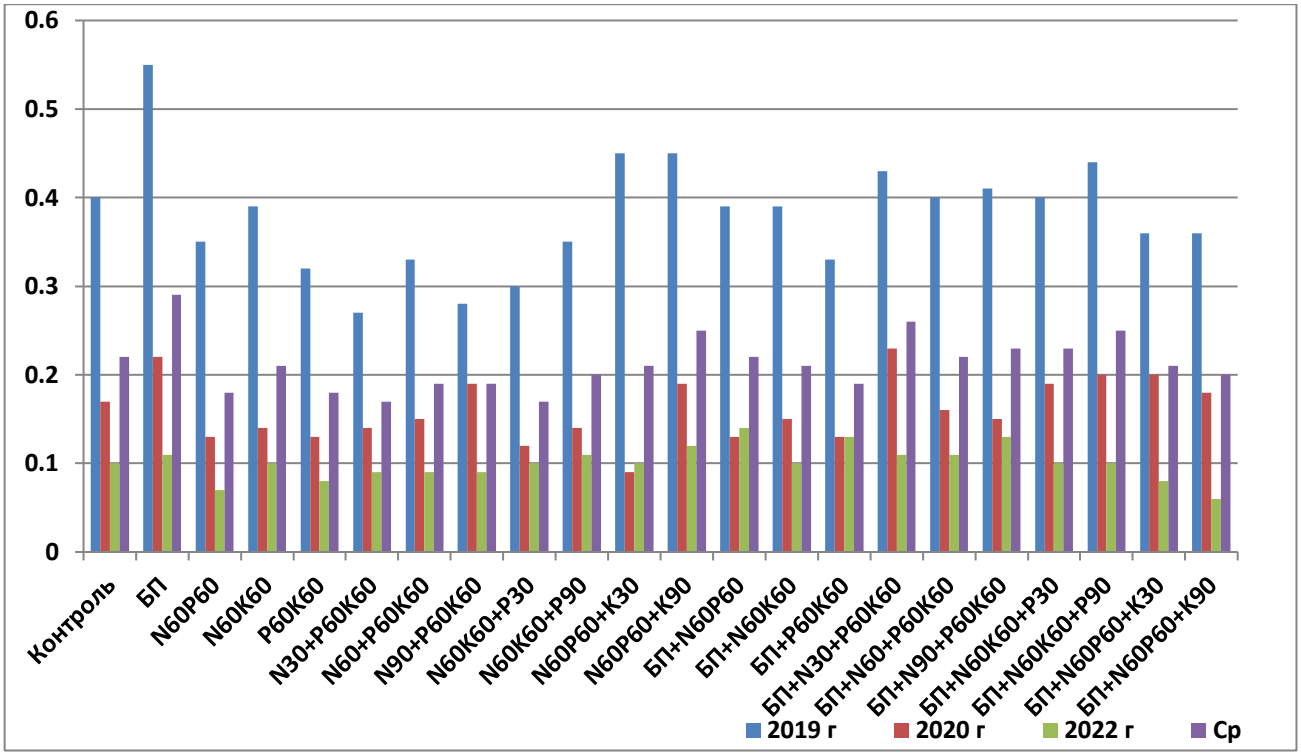

Рисунок 2 - Влияние минеральных удобрений и биопрепарата клубеньковых бактерий на массу клубеньков, г/растение

($НСР_{05}$ в среднем за 3 года – 0,06 г/растение)

В среднем за годы исследований наибольшая масса клубеньков наблюдалась в варианте с биопрепаратами (БП) - 0,29 г/растение - и в варианте с биопрепаратом, используемым в комплексе с минеральными удобрениями, - (БП+$P_{60}K_{60}N_{30}$), составившая 0,26 г/растение (при массе клубеньков на контроле 0,22 г/растение). В вариантах опыта с применением полного минерального удобрения масса клубеньков люцерны серповидной изменялась в интервале от 0,18 до 0,25 г/растение.

Более высоких значений масса клубеньков люцерны в вариантах опыта достигала на второй год ее жизни в 2019 г. и составляла 0,27-0,55 г/растение. Затем, с годами она понижалась и на пятом году жизни (2022 г.) находилась на уровне 0,06-0,13 г/растение.

Корреляционный анализ показал, что между количеством клубеньков люцерны серповидной и их массой в расчете на одно растение в среднем за годы опыта установлена сильная связь (при r=0,85). Между урожайностью сена люцерны и массой клубеньков корреляционная связь была слабой (r=0,21).

3.3. Урожайность сена люцерны серповидной Якутской желтой в зависимости от удобрений и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий

Урожайность сена люцерны серповидной в вариантах полевого опыта колебалась в 2019 г. (при использовании травостоя второго года жизни) от 6,6 до 12,4 т/га, 2020 г. (при использовании травостоя третьего года жизни) - от 3,6 до 4,9 т/га, в 2022 г. (при использовании травостоя пятого года жизни) - от 3,1 до 6,0 т/га (табл. 4).

Применение на травостое люцерны фосфорно-калийных удобрений в дозах $P_{60}K_{60}$ 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%.

В то же время действие фосфорных удобрений в дозах P_{30} и P_{60} на азотно-калийном фоне $N_{60}K_{60}$ не обеспечивало существенных прибавок урожая люцернового сена.

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 проведения полевого 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.

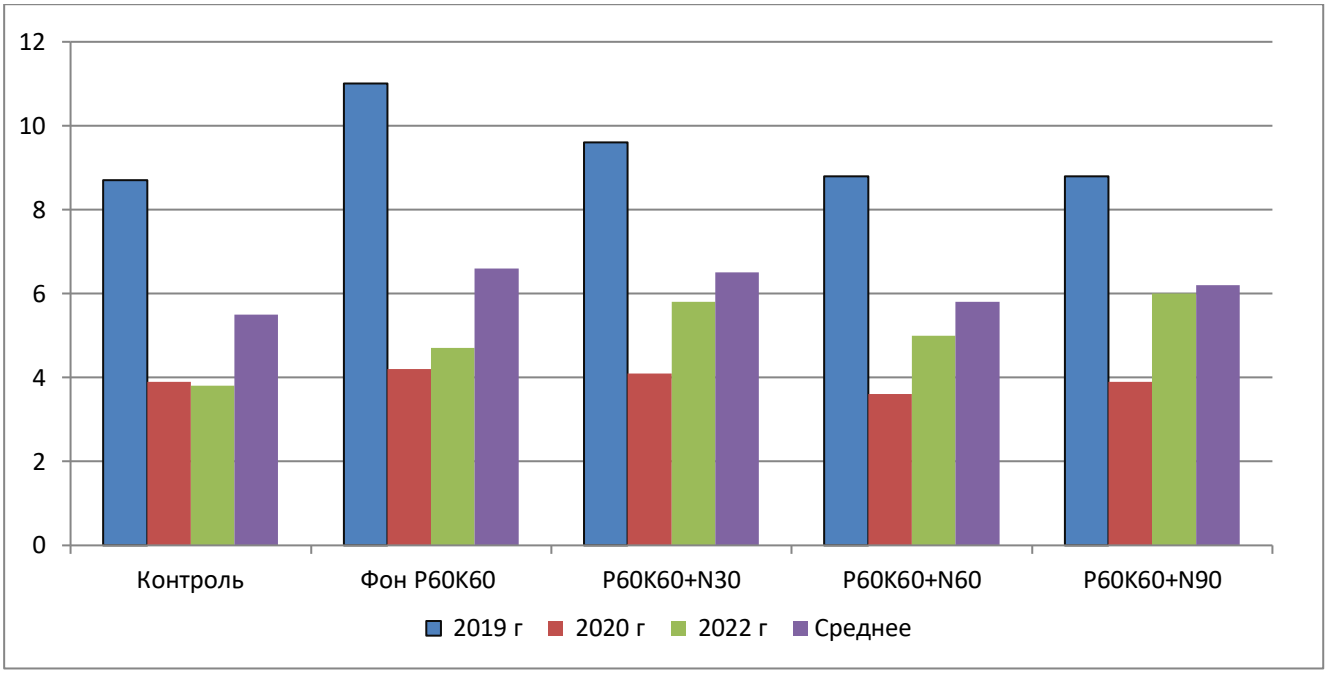

Рисунок 3 - Урожайность сена люцерны серповидной в зависимости от различных доз азотных удобрений на фоне Р60К60, т/га ($НСР_{05}$ – 2019 г. $F_ф<F_{05}$, 2020 г. - 0,7 т/га, 2022 г. – 0,5 т/га, в среднем за 3 года - 1,8 т/га)

Эта выявленная закономерность вполне согласуется с данными других исследователей, отмечавших при внесении минерального азота под люцерну, особенно при повышении его доз, снижение относительных размеров азотфиксации.

Как известно, благодаря симбиотической азотфиксирующей способности клубеньковых бактерий люцерна в условиях оптимальной реакции почвенной среды обеспечивает себя азотом, и поэтому её продуктивность, как правило, не зависит от применения азотных минеральных удобрений (Кутузова, 1975; Трепачев, 1976; Сычев, Соколов, Завалин, Шмырева, 2017).

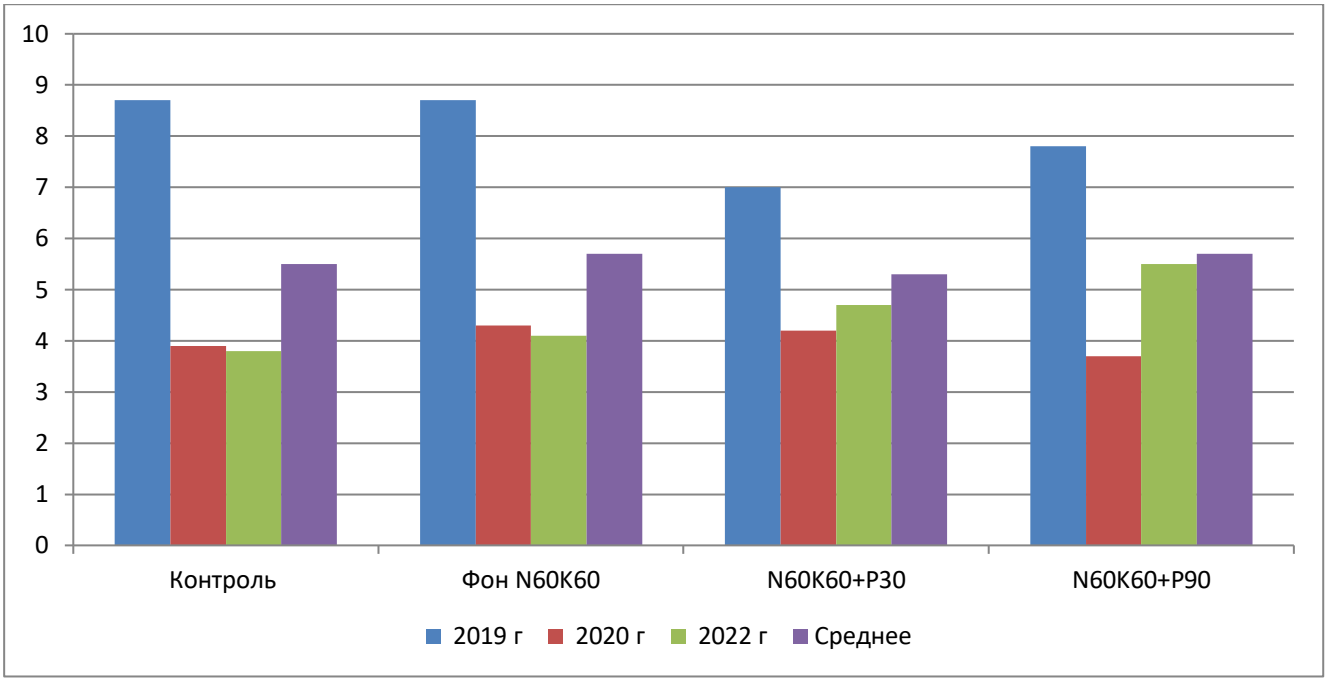

Рисунок 4 - Урожайность сена люцерны серповидной в зависимости от различных доз фосфорных удобрений на фоне N60K60, т/га ($НСР_{05}$ – 2019 г. $F_ф<F_{05}$, 2020 г. - 0,7 т/га, 2022 г. – 0,5 т/га, в среднем за 3 года - 1,8 т/га)

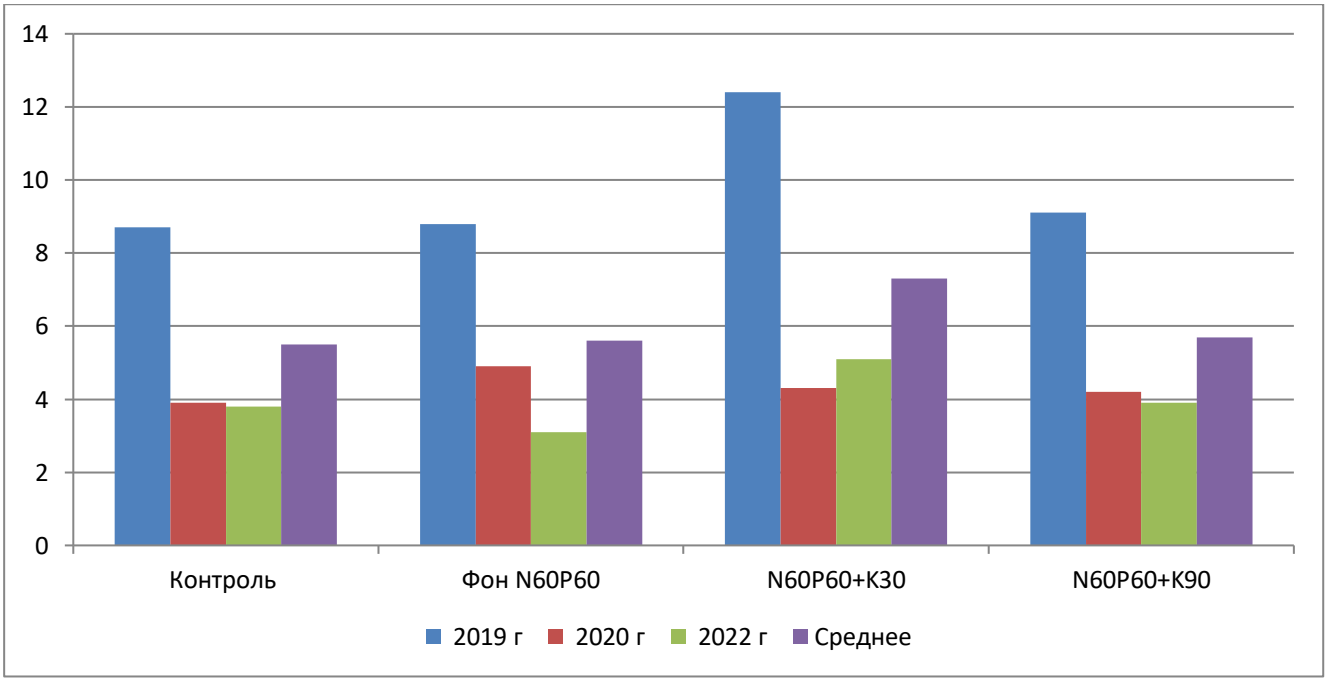

Рисунок 5 - Урожайность сена люцерны серповидной в зависимости от различных доз калийных удобрений на фоне N60P60, т/га ($НСР_{05}$ – 2019 г. $F_ф<F_{05}$, 2020 г. - 0,7 т/га, 2022 г. – 0,5 т/га, в среднем за 3 года - 1,8 т/га)

При анализе влияния на урожайность люцерны серповидной калийных минеральных удобрений отмечено их достоверное воздействие в низкой дозе - $К_{30}$, когда была получена средняя за 3 года прибавка урожая на уровне 1,8 т/га сена, составившая 32,7% к контролю без применения удобрений. 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 внесения удобрений.

Однако от инокуляции семян люцерны серповидной биопрепаратом клубеньковых бактерий в сочетании с минеральными удобрениями в среднем за 3 года исследований в условиях проводимого эксперимента эффекта не получено.

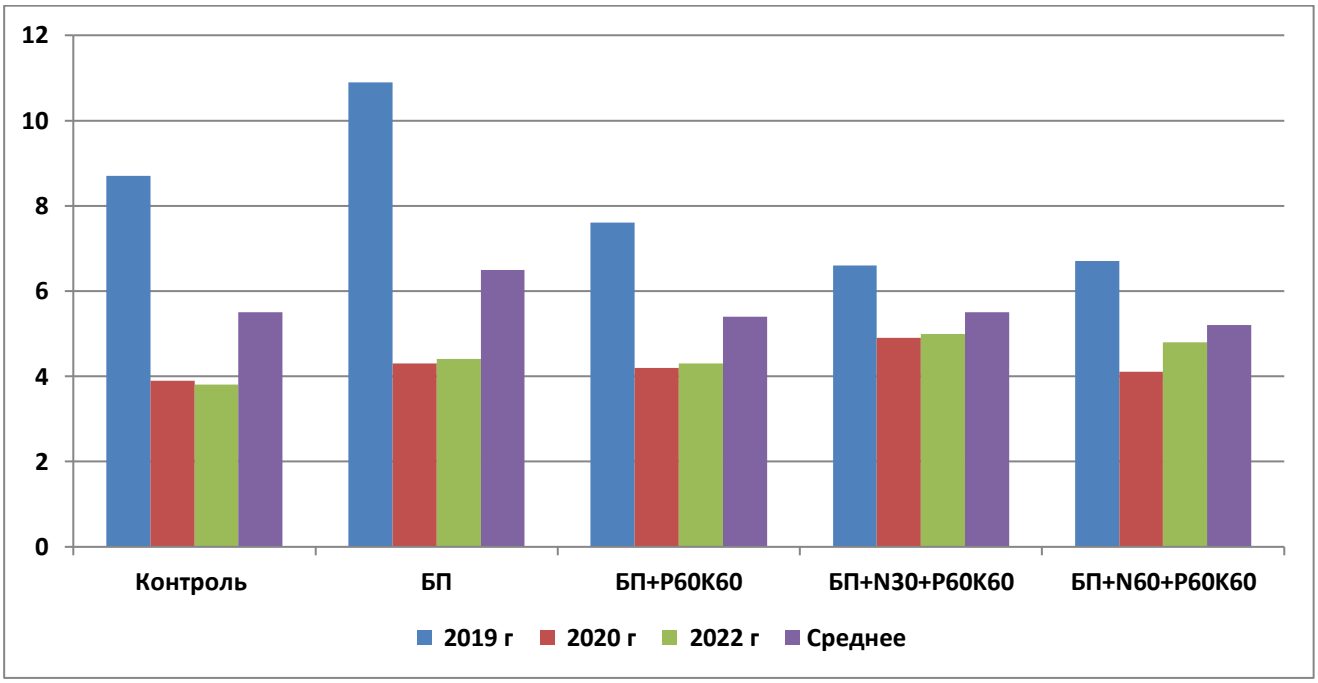

Рисунок 6 - Урожайность люцерны серповидной в зависимости от применения биопрепаратов, т/га ($НСР_{05}$ – 2019 г. $F_ф<F_{05}$, 2020 г. - 0,7 т/га, 2022 г. - 0,5 т/га, в среднем за 3 года - 1,8 т/га)

Таблица 4 - Урожайность сена люцерны серповидной в зависимости от доз и сочетаний минеральных удобрений и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий

Вариант опыта	Урожайность, т/га				Прибавка							
					т/га				%			
	2019	2020	2022	Ср.	2019	2020	2022	Ср.	2019	2020	2022	Ср.
Действие азотных удобрений												
Контроль	8,7	3,9	3,8	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Фон $P_{60}K_{60}$	11,0	4,2	4,7	6,6	2,3	0,3	0,9	1,1	26,4	7,7	23,7	20
$P_{60}K_{60}+N_{30}$	9,6	4,1	5,8	6,5	0,9	0,2	2,0	1,0	10,3	5,1	52,6	18,2
$P_{60}K_{60}+N_{60}$	8,8	3,6	5,0	5,8	-	-	1,2	0,3	-	-	31,6	5,5
$P_{60}K_{60}+N_{90}$	8,8	3,9	6,0	6,2	-	-	2,2	0,7	-	-	57,9	12,7
Действие фосфорных удобрений												
Контроль	8,7	3,9	3,8	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Фон $N_{60}K_{60}$	8,7	4,3	4,1	5,7	-	0,4	0,3	0,2	-	10,3	7,9	3,6
$N_{60}K_{60}+P_{30}$	7,0	4,2	4,7	5,3	-	0,3	0,9	-	-	7,7	23,7	-
$N_{60}K_{60}+P_{90}$	7,8	3,7	5,5	5,7	-	-	1,7	0,2	-	-	44,7	3,6
Действие калийных удобрений												
Контроль	8,7	3,9	3,8	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Фон $N_{60}P_{60}$	8,8	4,9	3,1	5,6	-	1,0	-	0,1	-	25,6	-	1,8
$N_{60}P_{60}+K_{30}$	12,4	4,3	5,1	7,3	3,7	0,4	1,3	1,8	42,5	10,3	34,2	32,7
$N_{60}P_{60}+K_{90}$	9,1	4,2	3,9	5,7	0,4	0,3	-	0,2	4,6	7,7	-	3,6
Действие биопрепарата												
Контроль	8,7	3,9	3,8	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-
БП	10,9	4,3	4,4	6,5	2,2	0,4	0,6	1,0	25,3	10,3	15,8	18,2
БП+$P_{60}K_{60}$	7,6	4,2	4,3	5,4	-	0,3	0,5	-	-	7,7	13,2	-
БП+$N_{30}P_{60}K_{60}$	6,6	4,9	5,0	5,5	-	1,0	1,2	-	-	25,6	31,6	-
БП+$N_{60}P_{60}K_{60}$	6,7	4,1	4,8	5,2	-	0,2	1,0	-	-	5,1	26,3	-
$НСР_{05}$					$F_ф<F_{05}$	0,7	0,5	1,8				

В то же время совместное применение 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%.

Таким образом, в среднем за 3 года исследований (2019 г., 2020 г. и 2022 г.) в условиях Центральной Якутии на мерзлотной таежной палевой почве максимальная урожайность сена люцерны Якутской желтой 7,3 т/га, что на 32,7% выше контроля, достигалась при внесении минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{30}$ с получением корма высокой питательности.

Урожайность люцерны серповидной на уровне 6,6 т/га с прибавкой к контролю 20% обеспечивалась при внесении фосфорно-калийных удобрений $P_{60}K_{60}$, а на уровне 6,5 т/га с прибавкой 18,2% при использовании биопрепарата для инокуляции семян или полного минерального удобрения в дозах $N_{30}P_{60}K_{60}$.

3.4. Ботанический состав травостоя люцерны серповидной в зависимости от удобрений и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий

Ботанический состав травостоев, согласно литературным данным, во многом зависит от природных и антропогенных факторов (Михайличенко, Кутузова, Новоселов и др., 1995; Кутузова, Зотов, Привалова, Тебердиев и др., 2015; Афанасьев, 2021; Мерзлая, 2022). В связи с этим важное значение имеет изучение состояния травостоя люцерны серповидной Якутской желтой, возделываемой на мерзлотной таежной палевой почве в суровых условиях Центральной Якутии при изменении условий минерального питания за счет использования удобрений и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий.

Определение ботанического состава травостоя люцерны серповидной в 2020 г., т.е. на третьем году ее жизни (второй год использования), свидетельствует о неоднозначности внедрения в агроценоз дикорастущих растений, в основном пырея ползучего, в зависимости от исследуемых приемов (рис. 7).

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

Максимально сохранялся травостой люцерны серповидной в варианте с фосфорно-калийными удобрениями ($P_{60}K_{60}$), где засорение несеяными 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 было 20,7%.

При внесении низких и умеренных доз азота в составе полного минерального удобрения несеяные виды в агроценозе люцерны составляли 10,8-15,1%.

В варианте опыта с высокой урожайностью при внесении $N_{60}P_{60}K_{30}$ агроценоз люцерны серповидной содержал несеяных видов на уровне 11,4%.

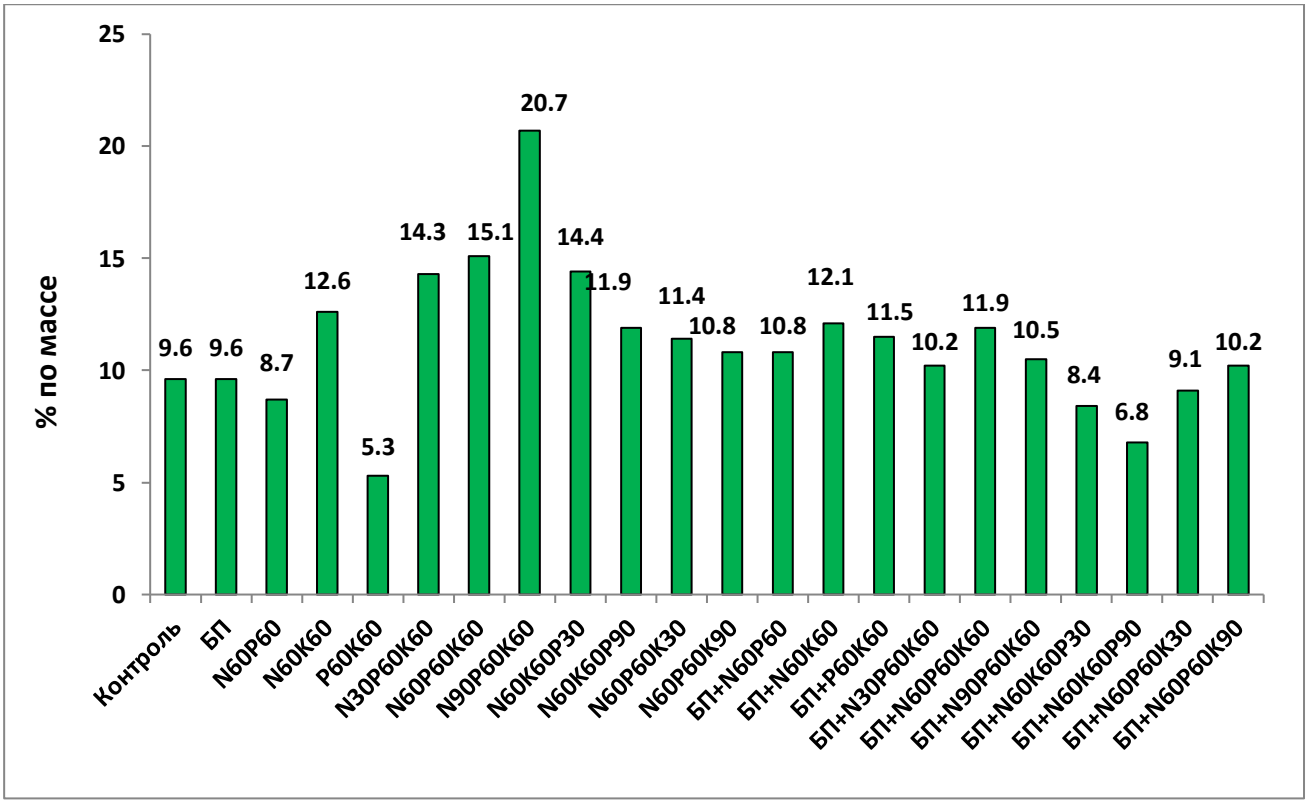

Рисунок 7 - Содержание сорных растений в агроценозе люцерны серповидной

При использовании биопрепарата в травостое люцерны содержалось несеяных трав 6,8-12,1%, т.е. инокуляция семян биопрепаратом клубеньковых бактерий способствовала сохранению высокого содержания основной культуры в агроценозе. В варианте с биопрепаратом без применения минеральных удобрений

содержание внедрившихся в травостой люцерны дикорастущих видов составляло 9,6%, т.е. этот показатель в данном случае был ниже, чем в вариантах удобрений с NPK. В то же время в вариантах применения парных сочетаний - $P_{60}K_{60}$ и $N_{60}P_{60}$ - внедрившихся видов трав было меньше, чем при использовании биопрепарата.

Глава 4. Химический состав люцерны серповидной в зависимости от удобрений и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий

Данные химического анализа сена люцерны серповидной Якутской желтой в зависимости от различных вариантов минеральных удобрений и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий по годам проведенных исследований и в среднем за эти годы приведены в таблицах 5-11, на рисунках 8-10 и в приложениях 11-15.

Согласно данным полевого опыта, применяемые минеральные удобрения при оптимизации доз и сочетаний в целом оказали положительное влияние на качество корма люцерны серповидной, что вполне согласуется с результатами многих ранее проведенных исследований по химическому составу многолетних бобовых трав в нашей стране и за рубежом (Алтунин, 1977; Андреев, Афанасьев, Мерзлая, 1972; Баканов и др., 1976; Афанасьев, 2021; Gruber, 1972; Pronczuk, Pawist, 1977).

В то же время отмечались некоторые особенности в изменении ряда показателей качества люцернового сена в зависимости от вариантов удобрений и инокуляции семян.

К одному из основных показателей кормовой ценности травяных кормов относится содержание сырого протеина, который служит важным источником незаменимых аминокислот в рационе сельскохозяйственных животных, обеспечивая тем самым их нормальную жизнедеятельность и повышая продуктивность. Люцерна как посевная, так и серповидная обладает высоким кормовым достоинством, и расширение ее посевов в условиях России, по мнению ряда авторов (Ларин, 1975; Кидин, 2012; Кутузова и др., 2015), позволило бы сократить дефицит переваримого протеина в кормах, сбалансировать рационы сельскохозяйственных животных по белку, устранить снижение плодородия почв.

Исследованиями, выполненными в полевом опыте на мерзлотной таежной палевой почве, установлены определенные изменения в содержании сырого

протеина в люцерне серповидной Якутской желтой под влиянием минеральных удобрений разной интенсивности.

Таблица 5 - Влияние минеральных удобрений и биопрепарата клубеньковых бактерий на содержание сырого протеина в сене люцерны серповидной Якутской желтой за 2019, 2020, 2022 гг.

Вариант опыта	Сырой протеин, %			
	2019 г.	2020 г.	2022 г.	В среднем за 3 года
Контроль	14,92	13,33	16,26	14,83
БП	15,27	11,37	16,27	14,30
$N_{60}P_{60}$	12,43	9,39	13,92	11,91
$N_{60}K_{60}$	14,68	13,06	17,15	14,96
$P_{60}K_{60}$	15,04	12,40	14,87	14,10
$N_{30}+P_{60}K_{60}$	15,72	13,23	14,77	14,57
$N_{60}+P_{60}K_{60}$	15,36	12,66	15,70	14,57
$N_{90}+P_{60}K_{60}$	16,04	12,67	14,65	14,45
$N_{60}K_{60}+P_{30}$	13,66	11,33	13,75	12,91
$N_{60}K_{60}+P_{90}$	15,74	14,95	14,38	15,02
$N_{60}P_{60}+K_{30}$	16,08	15,59	14,84	15,50
$N_{60}P_{60}+K_{90}$	13,57	11,26	15,97	13,60
БП+$N_{60}P_{60}$	14,09	12,11	16,05	14,08
БП+$N_{60}K_{60}$	15,12	13,75	19,81	16,23
БП+$N_{60}K_{60}$	17,24	15,65	15,81	16,23
БП+$N_{30}P_{60}K_{60}$	16,63	15,04	14,90	15,52
БП+$N_{60}P_{60}K_{60}$	16,63	15,02	17,02	16,22
БП+$N_{90}P_{60}K_{60}$	13,63	12,04	18,33	14,67
БП+$N_{60}K_{60}P_{30}$	15,67	14,08	15,00	14,92
БП+$N_{60}K_{60}P_{90}$	12,65	11,06	13,55	12,42
БП+$N_{60}P_{60}K_{30}$	12,82	11,23	14,65	12,90
БП+$N_{60}P_{60}K_{90}$	15,48	13,89	15,56	14,98
$НСР_{05}$				1,91

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 K_2O) - до 13,6%.

Однако рост дозы фосфора минеральных удобрений до 90 кг/га P_2O_5, наоборот, привел к повышению содержания сырого протеина в люцерне до 15,02%.

В варианте $N_{60}P_{60}K_{30}$, где была достигнута максимальная в опыте урожайность люцерны серповидной (7,3 т/га), в сене содержалось 15,5% сырого протеина, что свидетельствует о ее 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%.

Характерно, что использование биопрепарата для инокуляции семян люцерны серповидной на неудобренном фоне приводило к получению сена с содержанием сырого протеина 14,3%, т.е. с более низким, чем на контроле без применения удобрений.

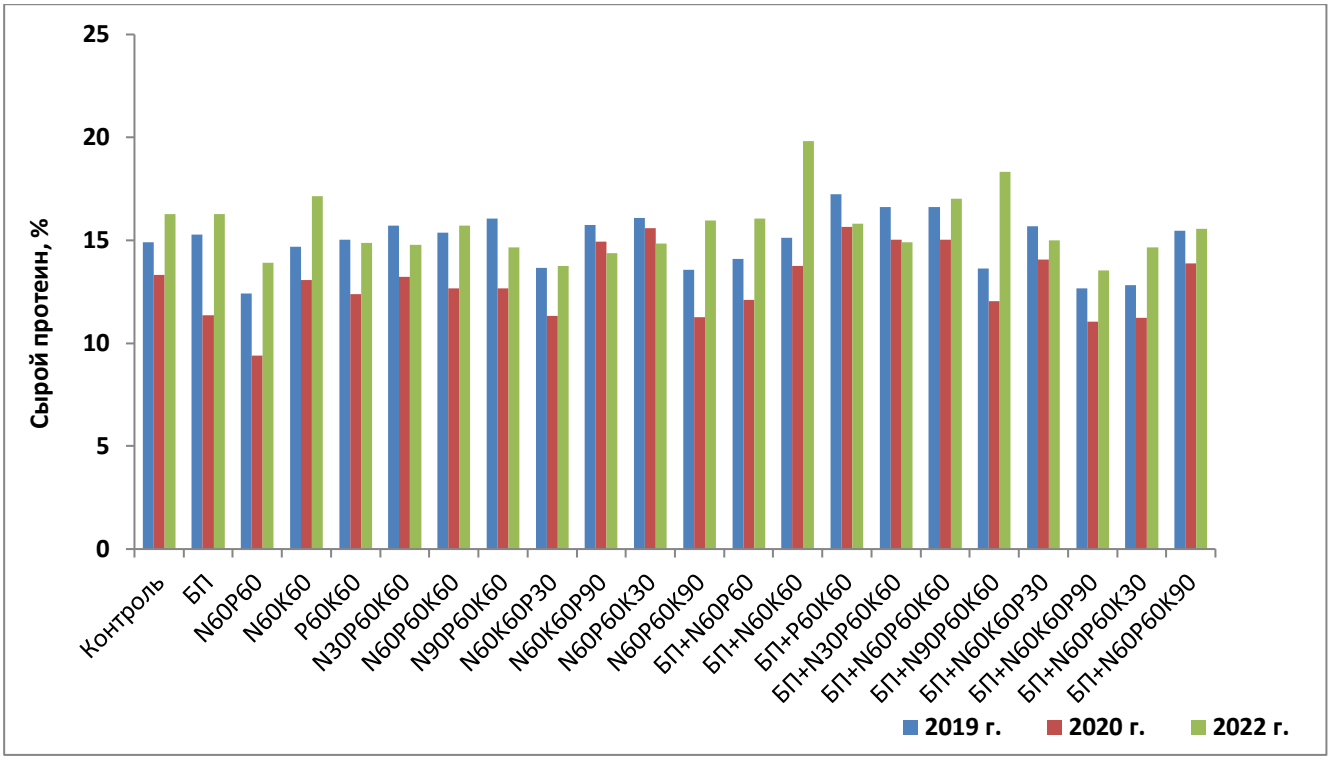

Рисунок 8 - Содержание сырого протеина в сене люцерны серповидной по годам исследований

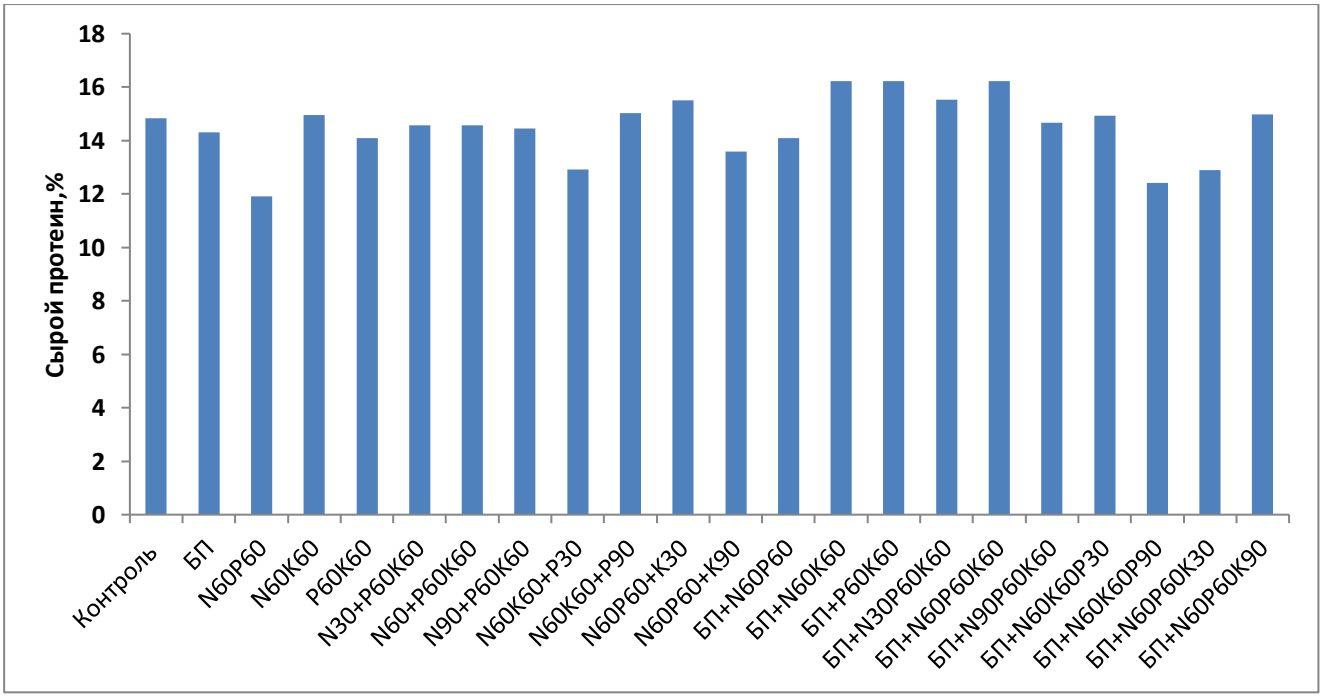

Рисунок 9 - Содержание сырого протеина в сене люцерны серповидной (в среднем за 3 года)

Можно заключить, что внесение удобрений, особенно в виде полного минерального удобрения, как правило, являлось эффективным приемом при

выращивании люцерны серповидной Якутской желтой и позволяло производить сено с содержанием сырого протеина 14,5-15,5%, т.е. выше принятых значений в отечественной практике кормления сельскохозяйственных животных.

В целом по данным проведенного полевого опыта, внесение минеральных удобрений, а также предпосевная обработка семян биопрепаратом клубеньковых бактерий при возделывании люцерны серповидной положительно сказывались на повышении содержания сырого протеина в травяном корме.

Другим важным показателем качества травяных кормов является клетчатка, избыточное содержание которой считается нежелательным.

В условиях проведенного полевого опыта содержание сырой клетчатки в сене люцерны серповидной (табл. 6) повышалось незначительно (на уровне тенденции) с ростом доз азотных, а также калийных минеральных удобрений - с 30,1% на контроле до 30,4-30,9% и до 30,2-30,5% соответственно при анализе данных в среднем за 3 года исследований.

Таблица 6 - Влияние минеральных удобрений и биопрепарата клубеньковых бактерий и на содержание сырой клетчатки в сене люцерны серповидной Якутской желтой за 2019, 2020, 2022 гг.

Вариант опыта	Сырая клетчатка, %			
	2019 г.	2020 г.	2022 г.	Ср.
Контроль	31,93	29,94	28,44	30,10
БП	31,42	29,31	28,82	29,85
$N_{60}P_{60}$	31,74	29,75	27,56	29,68
$N_{60}K_{60}$	31,43	29,44	28,79	29,87
$P_{60}K_{60}$	32,03	29,01	26,58	29,21
$N_{30}+P_{60}K_{60}$	31,80	28,61	26,57	28,99
$N_{60}+P_{60}K_{60}$	31,71	29,79	29,55	30,35
$N_{90}+P_{60}K_{60}$	31,47	29,56	31,54	30,86
$N_{60}K_{60}+P_{30}$	31,83	29,84	27,61	29,76
$N_{60}K_{60}+P_{90}$	30,61	28,62	29,78	29,67

Продолжение таблицы 6

$N_{60}P_{60}+K_{30}$	31,87	29,88	28,82	30,19
$N_{60}P_{60}+K_{90}$	31,78	29,79	29,97	30,51
БП+$N_{60}P_{60}$	31,16	29,17	29,35	29,89
БП+$N_{60}K_{60}$	31,27	29,28	29,19	29,91
БП+$N_{60}K_{60}$	31,62	29,63	30,40	30,55
БП+$N_{30}P_{60}K_{60}$	31,01	29,02	29,35	29,79
БП+$N_{60}P_{60}K_{60}$	32,14	30,15	30,27	30,85
БП+$N_{90}P_{60}K_{60}$	32,45	30,43	28,01	30,29
БП+$N_{60}K_{60}P_{30}$	32,35	30,36	31,59	31,43
БП+$N_{60}K_{60}P_{90}$	31,46	29,47	27,50	29,48
БП+$N_{60}P_{60}K_{30}$	31,88	29,89	27,41	29,73
БП+$N_{60}P_{60}K_{90}$	31,74	29,75	27,90	29,79
$НСР_{05}$				1,40

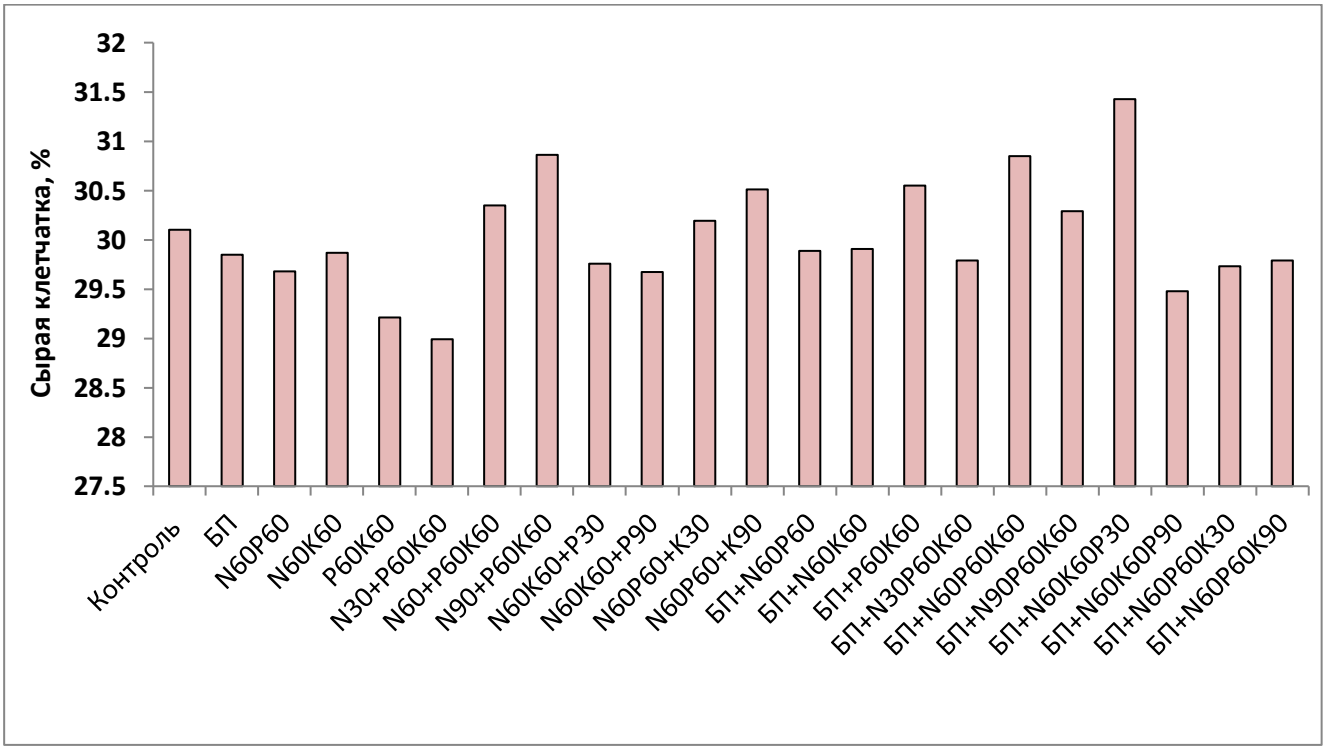

Рисунок 10 - Содержание сырой клетчатки в сене люцерны серповидной (в среднем за 3 года)

Относительно большее содержание сырой клетчатки в сене - 31,43% - обнаруживалось при выращивании люцерны серповидной Якутской желтой в варианте совместного применения биопрепарата для инокуляции семян с минеральными удобрениями (БП+$N_{60}P_{30}K_{60}$).

Следует иметь в виду, что зеленый корм из бобовых трав, в частности люцерны, с высоким содержанием сырого протеина и низким содержанием сырой клетчатки может вызывать у животных (особенно у крупного рогатого скота) такое заболевание, как тимпания.

В связи с этим определенное повышение содержания сырой клетчатки в зеленой массе бобовых трав может стать положительным фактором и послужить предупредительной мерой в борьбе с тимпанией у сельскохозяйственных животных, о чем свидетельствует ряд литературных источников (Ларин и др., 1975; Справочник …, 1976).

В содержании сырой золы и сырого жира в сене люцерны серповидной в зависимости от удобрений в исследуемых дозах и сочетаниях существенных изменений не было отмечено.

Таблица 7 - Влияние минеральных удобрений и биопрепарата клубеньковых бактерий и на содержание сырой золы в сене люцерны серповидной Якутской желтой за 2019, 2020, 2022 гг.

Вариант опыта	Сырая зола, %			
	2019 г.	2020 г.	2022 г.	Ср.
Контроль	6,01	5,66	6,43	6,03
БП	6,12	5,07	6,36	5,85
$N_{60}P_{60}$	5,57	5,22	6,04	5,61
$N_{60}K_{60}$	5,87	5,52	6,58	5,99
$P_{60}K_{60}$	5,90	5,32	6,56	5,93
$N_{30}+P_{60}K_{60}$	5,99	5,59	6,59	6,06
$N_{60}+P_{60}K_{60}$	6,09	5,31	5,72	5,71
$N_{90}+P_{60}K_{60}$	6,55	5,30	5,64	5,83

Продолжение таблицы 7

$N_{60}K_{60}+P_{30}$	5,74	5,39	6,14	5,76
$N_{60}K_{60}+P_{90}$	6,39	6,04	5,87	6,10
$N_{60}P_{60}+K_{30}$	6,35	6,00	6,03	6,13
$N_{60}P_{60}+K_{90}$	5,77	5,42	6,44	5,88
БП+$N_{60}P_{60}$	6,13	5,78	6,77	6,23
БП+$N_{60}K_{60}$	6,825	6,48	7,07	6,79
БП+$P_{60}K_{60}$	6,93	6,58	6,73	6,75
БП+$N_{30}P_{60}K_{60}$	6,64	6,29	6,00	6,31
БП+$N_{60}P_{60}K_{60}$	6,92	6,57	6,65	6,71
БП+$N_{90}P_{60}K_{60}$	6,24	5,89	6,69	6,27
БП+$N_{60}K_{60}P_{30}$	6,16	5,81	5,36	5,77
БП+$N_{60}K_{60}P_{90}$	5,76	5,41	6,04	5,74
БП+$N_{60}P_{60}K_{30}$	5,80	5,45	6,29	5,85
БП+$N_{60}P_{60}K_{90}$	6,32	5,97	6,13	6,14
$НСР_{05}$				0,48

Таблица 8 - Влияние минеральных удобрений и биопрепарата клубеньковых бактерий и на содержание сырого жира в сене люцерны серповидной Якутской желтой за 2019, 2020, 2022 гг.

Вариант опыта	Сырой жир, %			
	2019 г.	2020 г.	2022 г.	Ср.
Контроль	2,38	2,78	3,00	2,72
БП	2,58	2,72	2,94	2,75
$N_{60}P_{60}$	2,26	2,30	3,08	2,55
$N_{60}K_{60}$	2,49	2,89	3,06	2,81
$P_{60}K_{60}$	2,36	2,96	3,19	2,84
$N_{30}+P_{60}K_{60}$	2,46	3,05	3,23	2,91
$N_{60}+P_{60}K_{60}$	2,43	2,75	2,82	2,67
$N_{90}+P_{60}K_{60}$	2,54	2,85	2,34	2,58

Продолжение таблицы 8

$N_{60}K_{60}+P_{30}$	2,28	2,68	3,07	2,67
$N_{60}K_{60}+P_{90}$	2,64	3,04	2,61	2,76
$N_{60}P_{60}+K_{30}$	2,28	2,68	2,87	2,61
$N_{60}P_{60}+K_{90}$	2,17	2,57	2,69	2,48
БП+$N_{60}P_{60}$	2,42	2,82	2,78	2,67
БП+$N_{60}K_{60}$	2,34	2,74	3,37	2,82
БП+$P_{60}K_{60}$	2,44	2,84	2,57	2,62
БП+$N_{30}P_{60}K_{60}$	2,62	3,02	2,72	2,78
БП+$N_{60}P_{60}K_{60}$	2,32	2,72	2,76	2,60
БП+$N_{90}P_{60}K_{60}$	2,01	2,41	3,48	2,63
БП+$N_{60}K_{60}P_{30}$	2,29	2,69	2,27	2,42
БП+$N_{60}K_{60}P_{90}$	2,36	2,76	3,03	2,72
БП+$N_{60}P_{60}K_{30}$	2,24	2,64	3,19	2,69
БП+$N_{60}P_{60}K_{90}$	2,50	2,90	3,14	2,85
$НСР_{05}$				0,38

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%.

Таблица 9 - Влияние минеральных удобрений и биопрепарата клубеньковых бактерий и на содержание калия и фосфора в сене люцерны серповидной за 2019, 2020, 2022 гг.

Вариант опыта	Калий, %				Фосфор, %			
	2019 г.	2020 г.	2022 г.	Ср.	2019 г.	2020 г.	2022 г.	Ср.
Контроль	1,47	1,79	1,59	1,60	0,31	0,31	0,31	0,31
БП	1,44	2,05	1,52	1,66	0,31	0,28	0,34	0,31
$N_{60}P_{60}$	1,73	1,84	1,90	1,82	0,31	0,31	0,35	0,32
$N_{60}K_{60}$	1,55	1,92	1,75	1,74	0,31	0,32	0,34	0,32
$P_{60}K_{60}$	1,45	1,97	1,87	1,76	0,31	0,31	0,36	0,33
$N_{30}+P_{60}K_{60}$	1,40	1,88	1,89	1,72	0,31	0,31	0,36	0,33
$N_{60}+P_{60}K_{60}$	1,43	1,88	1,52	1,61	0,32	0,32	0,33	0,32
$N_{90}+P_{60}K_{60}$	1,33	1,87	1,48	1,56	0,32	0,31	0,34	0,32
$N_{60}K_{60}+P_{30}$	1,61	1,94	1,91	1,82	0,31	0,31	0,36	0,33
$N_{60}K_{60}+P_{90}$	1,47	1,74	1,68	1,63	0,32	0,30	0,33	0,32
$N_{60}P_{60}+K_{30}$	1,30	1,67	1,73	1,57	0,32	0,32	0,33	0,32
$N_{60}P_{60}+K_{90}$	1,59	1,54	1,45	1,52	0,31	0,31	0,34	0,32
БП+$N_{60}P_{60}$	1,56	1,64	1,45	1,55	0,32	0,31	0,35	0,33
БП+$N_{60}K_{60}$	1,36	1,50	1,17	1,35	0,33	0,31	0,33	0,32
БП+$P_{60}K_{60}$	1,16	1,74	1,41	1,43	0,33	0,30	0,34	0,32
БП+$N_{30}P_{60}K_{60}$	1,33	1,80	1,62	1,58	0,32	0,32	0,33	0,32
БП+$N_{60}P_{60}K_{60}$	1,16	1,43	1,34	1,31	0,33	0,29	0,34	0,32
БП+$N_{90}P_{60}K_{60}$	1,41	1,59	1,48	1,49	0,32	0,30	0,34	0,32
БП+$N_{60}K_{60}P_{30}$	1,31	1,61	1,60	1,48	0,32	0,31	0,29	0,31
БП+$N_{60}K_{60}P_{90}$	1,66	1,74	1,84	1,75	0,32	0,31	0,35	0,33
БП+$N_{60}P_{60}K_{30}$	1,61	1,63	1,77	1,67	0,32	0,32	0,35	0,33
БП+$N_{60}P_{60}K_{90}$	1,36	1,57	1,71	1,54	0,32	0,30	0,35	0,32
$НСР_{05}$				0,21				0,02

Таблица 10 - Влияние минеральных удобрений и биопрепарата клубеньковых бактерий и на содержание кальция в сене люцерны серповидной за 2019, 2020, 2022 гг.

Вариант опыта	Кальций, %			
	2019 г.	2020 г.	2022 г.	Среднее
Контроль	1,63	1,66	2,15	1,81
БП	1,65	1,76	2,15	1,85
$N_{60}P_{60}$	1,51	1,59	2,18	1,76
$N_{60}K_{60}$	1,66	1,63	2,22	1,84
$P_{60}K_{60}$	1,62	1,68	2,39	1,89
$N_{30}+P_{60}K_{60}$	1,71	1,87	2,36	1,98
$N_{60}+P_{60}K_{60}$	1,68	1,64	2,01	1,78
$N_{90}+P_{60}K_{60}$	1,72	1,68	1,65	1,68
$N_{60}K_{60}+P_{30}$	1,62	1,58	2,19	1,80
$N_{60}K_{60}+P_{90}$	1,84	1,79	2,03	1,89
$N_{60}P_{60}+K_{30}$	1,80	1,73	2,10	1,88
$N_{60}P_{60}+K_{90}$	1,66	1,62	1,98	1,75
БП+$N_{60}P_{60}$	1,70	1,68	2,04	1,81
БП+$N_{60}K_{60}$	1,77	1,75	2,07	1,86
БП+$P_{60}K_{60}$	1,85	1,81	1,86	1,84
БП+$N_{30}P_{60}K_{60}$	1,83	1,79	2,09	1,90
БП+$N_{60}P_{60}K_{60}$	1,74	1,68	1,93	1,78
БП+$N_{90}P_{60}K_{60}$	1,57	1,53	2,31	1,80
БП+$N_{60}K_{60}P_{30}$	1,67	1,63	1,90	1,73
БП+$N_{60}K_{60}P_{90}$	1,51	1,55	2,11	1,72
БП+$N_{60}P_{60}K_{30}$	1,51	1,49	2,16	1,72
БП+$N_{60}P_{60}K_{90}$	1,66	1,62	2,20	1,83
$НСР_{05}$				0,21

Таблица 11 - Влияние минеральных удобрений и биопрепарата клубеньковых бактерий и на содержание углеводов в сене люцерны серповидной за 2019, 2020, 2022 гг.

Вариант опыта	Углеводы, %			
	2019 г.	2020 г.	2022 г.	Среднее
Контроль	3,78	4,24	3,44	3,82
БП	3,12	6,74	4,11	4,66
$N_{60}P_{60}$	4,20	4,62	4,83	4,55
$N_{60}K_{60}$	4,60	4,53	3,56	4,23
$P_{60}K_{60}$	3,67	4,43	3,90	4,00
$N_{30}+P_{60}K_{60}$	4,22	5,64	3,58	4,48
$N_{60}+P_{60}K_{60}$	3,13	4,56	4,92	4,20
$N_{90}+P_{60}K_{60}$	2,13	5,35	3,46	3,65
$N_{60}K_{60}+P_{30}$	4,29	4,31	4,30	4,30
$N_{60}K_{60}+P_{90}$	3,08	3,12	6,07	4,09
$N_{60}P_{60}+K_{30}$	3,93	3,91	5,23	4,36
$N_{60}P_{60}+K_{90}$	4,77	4,68	3,31	4,25
БП+$N_{60}P_{60}$	3,49	3,53	2,70	3,24
БП+$N_{60}K_{60}$	1,73	1,91	2,05	1,90
БП+$P_{60}K_{60}$	1,83	1,87	2,53	2,08
БП+$N_{30}P_{60}K_{60}$	2,27	2,32	5,94	3,51
БП+$N_{60}P_{60}K_{60}$	1,42	1,45	2,80	1,89
БП+$N_{90}P_{60}K_{60}$	2,84	2,81	4,11	3,25
БП+$N_{60}K_{60}P_{30}$	3,97	3,95	7,59	5,17
БП+$N_{60}K_{60}P_{90}$	4,37	4,39	4,60	4,45
БП+$N_{60}P_{60}K_{30}$	3,89	3,81	3,79	3,83
БП+$N_{60}P_{60}K_{90}$	3,07	3,11	4,90	3,69

Следует учитывать, что в зоотехнической практике при оценке корма придают большое значение содержанию в нем важнейших питательных веществ. В расчете на 1 кормовую единицу 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, Овсищер, Бондарева, 1976; Справочник …, 1976; Хенниг, 1976).

Согласно данным полевого опыта в люцерновом сене варианта с наибольшей продуктивностью - $N_{60}P_{60}K_{30}$ – в расчете на 1 кг кормовых единиц 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, проведенного в течение трех лет (2019, 2020, 2022 гг.) в условиях мерзлотной таежной палевой почвы в Центральной Якутии, можно заключить, что сено люцерны серповидной Якутской желтой в вариантах внесения минеральных удобрений, а также использования биопрепарата клубеньковых бактерий 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.

В экстремальных условиях мерзлотных таежных палевых почв Центральной Якутии при возделывании высокоценных бобовых культур и прежде всего люцерны представляют интерес размеры производства биологического азота. На основании данных проведенного полевого опыта по продуктивности люцерны серповидной Якутской желтой и содержанию азота в травяной массе определена биологическая азотфиксация, которая в варианте $N_{60}P_{60}K_{30}$ с высокой урожайностью сена составила в среднем за год 70 кг/га.

Глава 5. Вынос и баланс питательных веществ при возделывании люцерны серповидной Якутской желтой

По результатам исследований в полевом опыте в среднем за 3 года (2019, 2020, 2022 гг.) был рассчитан вынос и баланс азота, фосфора и калия при возделывании люцерны серповидной (табл. 12, приложения 16 и 17).

Таблица 12 - Вынос азота, фосфора, калия с урожаем люцерны серповидной Якутской желтой в среднем за 2019, 2020, 2022 гг.

Вариант опыта	Урожайность сена, т/га	Вынос, кг/га		
		азота	фосфора	калия
Контроль	5,5	130,6	17,0	88,0
БП	6,5	148,7	20,1	107,8
$N_{60}P_{60}$	5,6	106,7	18,2	101,9
$N_{60}K_{60}$	5,7	136,4	18,2	99,2
$P_{60}K_{60}$	6,6	148,9	21,8	116,1
$N_{30}P_{60}K_{60}$	6,5	151,5	21,5	111,8
$N_{60}P_{60}K_{60}$	5,8	135,2	18,6	93,4
$N_{90}P_{60}K_{60}$	6,2	144,5	19,8	96,7
$N_{60}K_{60}P_{30}$	5,3	109,4	17,5	96,5
$N_{60}K_{60}P_{90}$	5,7	137,0	18,2	92,9
$N_{60}P_{60}K_{30}$	7,3	181,0	23,4	114,6
$N_{60}P_{60}K_{90}$	5,7	124,0	18,2	86,6
БП+$N_{60}P_{60}$	5,3	119,4	17,5	82,1
БП+$N_{60}K_{60}$	6,2	161,0	19,8	83,7
БП+$P_{60}K_{60}$	5,4	140,2	17,3	77,2
БП+$N_{30}P_{60}K_{60}$	5,5	136,5	17,6	86,9
БП+$N_{60}P_{60}K_{60}$	5,2	126,6	16,6	68,1
БП+$N_{90}P_{60}K_{60}$	5,5	129,1	17,6	81,9
БП+$N_{60}K_{60}P_{30}$	4,7	112,2	14,6	69,6
БП+$N_{60}K_{60}P_{90}$	5,1	101,3	16,8	89,2

Продолжение таблицы 12

БП+$N_{60}P_{60}K_{30}$	4,7	97,0	15,5	78,5
БП+$N_{60}P_{60}K_{90}$	5,1	122,2	16,3	78,5

Как видно из полученных данных, усвоение питательных веществ растениями люцерны значительно варьировало по вариантам опыта и зависело от применения минеральных удобрений, их сочетаний и доз внесения, а также от использования инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий и других условий.

Вынос азота урожаем люцерны в зависимости от варианта опыта изменялся от 97 до 181 кг/га, фосфора – от 14,6 до 21,8 кг/га, калия – от 68,1 до107,8 кг/га.

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 палевой почвы в Центральной Якутии при возделывании люцерны серповидной были получены следующие выносы N, P_2O_5 и K_2O на 1 т продукции: 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 на варианте с биопрепаратом – 22,9; 3,1; 16,6. Эти новые данные выноса питательных веществ люцерной серповидной могут служить важной научной базой для разработки соответствующих нормативов в северных регионах.

По данным корреляционного анализа, в условиях полевого опыта 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 его не вносили.

Глава 6. Влияние минеральных удобрений и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий на агрохимические свойства почвы

Для изучения эффективности минеральных удобрений при возделывании люцерны серповидной и инокуляции семян биопрепаратом клубеньковых бактерий по вариантам полевого опыта в осенний период были отобраны почвенные пробы.

Результаты агрохимического анализа почвы в годы проведения полевого опыта с люцерной серповидной Якутской желтой представлены в таблице 13-14 и в приложениях 18-21.

Как видно из приведенных данных, применение всех видов минеральных удобрений в исследуемых дозах и биопрепарата практически не влияло на величину pH почвы при возделывании люцерны серповидной второго года жизни (в 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 (Приложение 20) отмечалось повышение содержания подвижного фосфора (P_2O_5) в почве в сравнении с неудобренным контролем по всем видам исследуемых удобрений в 2020 г., т.е. на травостое люцерны серповидной третьего года жизни, со 134 мг/кг до 159-206 мг/кг при внесении минеральных удобрений и до 144—182 мг/кг при внесении биопрепарата. В то же время в 2022 г. (на пятый год жизни люцерны) содержание этого показателя уменьшилось с 229 мг/кг на контроле до 167-240 мг/кг при внесении минеральных удобрений и до 144—182 мг/кг при внесении биопрепарата. Что касается калия (Приложение 21), то увеличение его содержания в почве по отношению к контролю более заметным было в 2020 г. (на пятый год жизни

люцерны) с 252 мг/кг до 272 мг/кг при внесении калийных удобрений и до 269 мг/кг при внесении биопрепарата.

Таблица 13 - Влияние удобрений и биопрепарата на $pH_{водн}$, содержание P_2O_5 и K_2O в почве, в среднем за 3 года исследований

Вариант опыта	$pH_{водн}$	P_2O_5, мг/кг	K_2O, мг/кг
Действие азотных удобрений			
Контроль	8,40	197	268
Фон $P_{60}K_{60}$	8,52	198	264
$P_{60}K_{60}+N_{30}$	8,58	187	268
$P_{60}K_{60}+N_{60}$	8,69	194	269
$P_{60}K_{60}+N_{90}$	8,63	190	272
$НСР_{05}$	0,24	41	12
Действие фосфорных удобрений			
Контроль	8,40	197	268
Фон $N_{60}K_{60}$	8,57	205	267
$N_{60}K_{60}+P_{30}$	8,71	194	269
$N_{60}K_{60}+P_{90}$	8,66	187	268
$НСР_{05}$	0,41	67	20
Действие калийных удобрений			
Контроль	8,40	197	268
Фон $N_{60}P_{60}$	8,58	210	255
$N_{60}P_{60}+K_{30}$	8,69	188	267
$N_{60}P_{60}+K_{90}$	8,67	186	274
$НСР_{05}$	0,45	62	24
Действие биопрепаратов			
Контроль	8,40	197	268
БП	8,52	193	262
БП+$P_{60}K_{60}$	8,76	182	274
БП+$N_{30}P_{60}K_{60}$	8,77	186	265
БП+$N_{60}P_{60}K_{60}$	8,74	179	267
$НСР_{05}$	0,47	52	17

Таблица 14 - Влияние удобрений и биопрепарата на содержание $N\text{-}NO_3$ в почве (мг/кг) по годам опыта

Вариант	2019 г.	2020 г.	2022 г.
Действие азотных удобрений			
Контроль	1,2	1,6	1,1
Фон $P_{60}K_{60}$	1,3	1,4	1,1
$P_{60}K_{60}+N_{30}$	1,3	1,4	1,4
$P_{60}K_{60}+N_{60}$	1,2	1,4	1,5
$P_{60}K_{60}+N_{90}$	1,3	1,4	1,5
$НСР_{05}$			0,3
Действие фосфорных удобрений			
Контроль	1,2	1,6	1,1
Фон $N_{60}K_{60}$	1,3	1,3	1,2
$N_{60}K_{60}+P_{30}$	1,4	1,2	1,4
$N_{60}K_{60}+P_{90}$	1,4	1,5	1,6
$НСР_{05}$			0,3
Действие калийных удобрений			
Контроль	1,2	1,6	1,1
Фон $N_{60}P_{60}$	1,3	1,2	1,2
$N_{60}P_{60}+K_{30}$	1,3	1,3	1,8
$N_{60}P_{60}+K_{90}$	1,4	1,6	1,6
$НСР_{05}$			0,4
Действие биопрепаратов			
Контроль	1,2	1,6	1,1
БП	1,4	1,4	1,2
БП+$P_{60}K_{60}$	1,4	1,5	1,8
БП+$N_{30}P_{60}K_{60}$	1,5	1,5	1,6
БП+$N_{60}P_{60}K_{60}$	1,3	1,5	1,7
$НСР_{05}$			0,4

Содержание нитратного азота в почве при внесении минеральных удобрений и биопрепарата под люцерну серповидную мало отличалось от контроля во все сроки определения (табл. 14).

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 улучшении агрохимических свойств мерзлотной таежной палевой почвы.

В целом 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.

Глава 7. Экономическая и энергетическая эффективность возделывания люцерны серповидной

7.1. Экономическая эффективность возделывания люцерны серповидной

Экономическую эффективность возделывания люцерны серповидной сорта Якутская желтая при применении удобрений определяли 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 видно из данных, приведенных в таблице 15, на мерзлотной таежной палевой почве в Центральной Якутии урожайность сена люцерны серповидной без внесения удобрений может быть получена на уровне 5,5 т с 1 га.

Применение минеральных удобрений повышало урожайность люцернового сена до 6,5-7,3 т/га. Исходя из данных по окупаемости затрат в полевом опыте с люцерной серповидной эффективными были варианты минеральных удобрений $P_{60}K_{60}$, $N_{30}P_{60}K_{60}$ и $N_{60}P_{60}K_{30}$.

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

Таблица 15 - Экономическая эффективность возделывания люцерны серповидной Якутской желтой, в среднем за 3 года исследований (2019, 2020, 2022 гг.)

Вариант опыта	Урожайность сена, т/га	Прибавка, т/га зерновых единиц	Дополни-тельные затраты, руб./га	Стоимость доп. продукции, руб./га	Окупаемость затрат, руб./руб.
Контроль без удобрений	5,5	-	-	-	-
$P_{60}K_{60}$ - фон	6,6	0,55	1870	8410	4,49
$P_{60}K_{60}$ N_{30}	6,5	0,5	2262	7445	3,29
$P_{60}K_{60}$ N_{60}	5,8	0,15	2654	2294	0,86
$P_{60}K_{60}$ N_{90}	6,2	0,35	3046	5351	1,76
$N_{60}K_{60}$ - фон	5,7	0,1	1358	1529	1,12
$N_{60}K_{60}P_{30}$	5,3	-	2006	-	-
$N_{60}K_{60}P_{90}$	5,7	0,1	3302	1529	0,46
$N_{60}P_{60}$ - фон	5,6	0,05	2079	764	0,37
$N_{60}P_{60}K_{30}$	7,3	0,9	2304	13761	5,97
$N_{60}P_{60}K_{90}$	5,7	0,1	2566	1529	0,59

7.2. Энергетическая эффективность возделывания люцерны серповидной

Расчет энергетической эффективности применения удобрений на посеве люцерны серповидной при возделывании на мерзлотной таежной палевой почве проводили по методике Л.М. Державина, И.В. Колокольцевой Н.К. Скворцовой, О.А. Пузановой, Т.А. Яковлевой (2000).

В соответствии с приведенной методикой учитывали количество энергии, содержащейся в прибавке урожая сена люцерны, и энергии, затраченной для получения этой прибавки.

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.

Из данных, приведенных в таблице 16, следует, что энергетические затраты на применение удобрений под люцерну серповидную в среднем за 3 года исследований варьировали от 418 до 3022 МДж/га в зависимости от варианта полевого опыта.

Энергетическая эффективность внесения минеральных удобрений в различных дозах и сочетаниях по вариантам полевого опыта заметно изменялась.

Высокая энергетическая эффективность применения удобрений на посеве 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, полученной в условиях выполненного опыта, – $N_{60}P_{60}K_{30}$ – достигался высокий энергетический коэффициент, который составлял 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 $P_{60}K_{60}$) – 27,5 кг сена (или 13,8 кг зерновых единиц).

Таблица 16 - Энергетическая эффективность применения удобрений при возделывании люцерны серповидной, в среднем за 3 года (2019, 2020, 2022 гг.)

Вариант опыта	Прибавка урожая, кг/га	Содержание энергии в прибавке урожая от удобрений. МДж/га	Энергетические затраты на применение удобрений, МДж/га	Коэффициент энергетической эффективности
Контроль	-	-	-	-
$P_{60}K_{60}$ - фон	1100	24013	418	57,4
$P_{60}K_{60}$ N_{30}	1000	21830	1286	17,0
$P_{60}K_{60}$ N_{60}	300	6549	2154	3,0

Продолжение таблицы 16

$P_{60}K_{60}N_{90}$	700	15281	3022	5,1
$N_{60}K_{60}$ - фон	200	4366	1902	2,3
$N_{60}K_{60}+P_{90}$	-	-	-	-
$N_{60}K_{60}P_{90}$	200	4366	2280	1,9
$N_{60}P_{60}$ - фон	100	2183	1988	1,1
$N_{60}P_{60}K_{30}$	1800	39194	2071	18,9
$N_{60}P_{60}K_{90}$	200	4366	2237	2,0

Таким образом, в результате анализа данных по экономической и энергетической эффективности удобрений в среднем за 3 года исследований (2019, 2020, 2022 гг.) было установлено, что при возделывании люцерны серповидной Якутской желтой на мерзлотной таежной палевой почве в условиях Центральной Якутии с учетом получения максимальной урожайности культуры – 7,3 т/га сена - и достоверной прибавки урожая на уровне 1,8 т/га (32,7% к контролю) целесообразно применять полное минеральное удобрение в дозах $N_{60}P_{60}K_{30}$.

При этом обеспечивался дополнительный сбор обменной энергии в размере 39,19 ГДж/га и многократно окупались среднегодовые затраты энергии на применение удобрений.

Согласно расчетам экономической эффективности, в варианте полного минерального удобрения - $N_{60}P_{60}K_{30}$ достигалась высокая окупаемость 1 руб. дополнительных затрат на его применение, составившая в условиях проведенного полевого опыта 5,97 руб.

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 $N_{60}P_{60}K_{30}$, 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 $P_{60}K_{60}$ 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 K_2O) – до 13,6%. В то же время рост дозы фосфора минеральных удобрений до 90 кг/га P_2O_5, 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 $N_{60}P_{60}$ 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%.

По данным химического состава, в люцерновом сене варианта с наибольшей продуктивностью - $N_{60}P_{60}K_{30}$ 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 $P_{60}K_{60}$ составила 27,5 кг сена (или 13,8 кг зерновых единиц), а в варианте полного минерального удобрения $N_{60}P_{60}K_{30}$ - 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 удобренитя 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 литературы

1. Абрамов, А.Ф. Состав и питательность кормов Якутии: Справочник. / А.Ф. Абрамов, Н.Е. Андросов, Н.В. Барашкова. – Новосибирск, 1993. – 132 с.

2. Абрамов, А.Ф. Эколого-биохимические основы производства кормов и рационального использования пастбищ в Якутии. / А.Ф. Абрамов. – Новосибирск, 2000. – 205 с.

3. Абрамов, А.Ф. Методики взятия и подготовки проб к анализу: Методическое руководство / А.Ф. Абрамов / РАСХН. Сиб. отд-ние. Якут. НИИСХ. – Якутск, 2007. – 48 с.

4. Алтунин, Д.А. Применение азотных удобрений на естественных сенокосах в Нечерноземной зоне РСФСР. / А.Д. Алтунин // Химия в сельском хозяйстве. 1977. Т.15. № 4. – С. 51-53.

5. Андреев, Н.Г. Интенсификация лугопастбищного хозяйства / Н.Г. Андреев, Р.А. Афанасьев, Г.Е. Мерзлая. М.: Знание, 1972. – 93 с.

6. Афанасьев, Р.А. Удобрение орошаемых пастбищ в Нечерноземной зоне России. Р.А. Афанасьев. – М.: ВНИИА, 2021. – 320 с.

7. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. - 656 с.

8. Александров, Л.С. Использование ленхетина для повышения симбиотической азотфиксации и урожая бобовых растений. / Л.С. Александров, А.П. Кожемяков, Е.В. Шевенко, В.И. Яковлев. // Получение и применение регуляторов роста. – Л., 1986. – С. 66-72.

9. Артемов, И.В. Роль севооборотов с сидератами и биологизация земледелия /И. В. Артемов, С. И. Маненков // Кормопроизводство. – 2007. – №12. – С. 20-21.

10. Архипова, А.А. Исходный материал для селекции люцерны в Центральной Якутии. / А.А. Архипова. // Пути повышения урожайности сельскохозяйственных культур. – Якутск, 1976. – С. 45-51.

11. Атласова, Л.Г. Симбиотическая деятельность клубеньковых бактерий Medicago falcata L. в условиях Центральной Якутии / Л.Г. Атласова // Известия

Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17. – № 5. – С. 77-80.

12. Базилинская, М.В. Биоулобрения. / М.В. Базилинская. – М.: Агропромиздат, 1989. – 128 с.

13. Баканов, В.Н. Химический состав трав культурных пастбищ и пути их эффективного использования. / В.Н. Баканов, Б.Р. Овсищер, Н.И. Бондарева. Животноводство. 1976. Т. 15. № 3. - С. 36-39.

14. Баранов, Н.Н. Методические указания по определению экономической эффективности удобрений и других средств химизации, применяемых в сельском хозяйстве / Н.Н. Баранов, В.А. Захаренко, А.С. Шевченко и др. М.: Колос, 1979. – 32 с.

15. Бекузарова, С.А., Беляева, В.А., Бушуева, В.И. Биохимическая оценка селекционных образцов клевера лугового // Кормопроизводство. – 2008. – № 11. − С. 21-23.

16. Берестецкий, О.А. Азотфиксирующая активность в ризосфере и на корнях небобовых растений. / О.А. Берестецкий, Л.Ф. Васюк. // Известия Академии наук СССР. Серия Биология. – 1983. - № 1. – С. 44-50.

17. Берестецкий, О.А. Эффективность препаратов клубеньковых бактерий в географической сети опытов. / О.А. Берестецкий, Л.М. Доросинский, А.П. Кожемяков. // Известия Академии наук СССР: Серия биология. – 1987. - №5. – С. 670-679.

18. Вавилов, П.П., Балышев, Л.Н. Полевые сельскохозяйственные культуры СССР. М.: Колос, 1984. – 159 с.

19. Васюк, Л.Ф. Эффективность симбиоза Rhizobium meliloti с различнымивидами и сортами люцерны / Л.Ф. Васюк // Бюлл. ВНИИСХМ. – 1978. – №19. – Вып. 2. – С. 11-15.

20. Васюк, Л.Ф., Лапин, А.Г., Крапивенко, Т.М. и др. Эффективность симбиоза видов и сортов люцерны с клубеньковыми растениями в различных почвенно-климатических районах / Л.Ф. Васюк, А.Г. Лапин, Т.М. Крапивенко //Бюлл. ВНИИСХМ. – 1976. – №18. – Вып. 1. – С. 33-37.

21. Воробейков, Г.А. Микроорганизмы, урожай и биологизация земледелия. / Г.А. Воробейков. – Санкт-Петербург, 1998. – 120 с.

22. Воробьев, Н.И. Эффективность симбиотрофных и ассоциативных микроорганизмов в растениеводстве. / Н.И. Воробьев, А.П. Кожемяков. // Труды Всесоюзного научно-исследовательского института сельскохозяйственной микробиологии. – Л., 1989. Т. 59 – с. 114.

23. Гаврилова, М.К. Климат Центральной Якутии. / М.К. Гаврилова. – Якутск, 1962. – 53 с.

24. Гаврилова, М.К. Климат Центральной Якутии. / М.К. Гаврилова. – Якутск: Якутское книжное издательство, 1973. – 120 с.

25. Голобородько, С.П. Люцерна. / С.П. Голобородько, Н.Н. Лазарев. // Монография. – М.: Изд-во РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2009. – 425 с.

26. Гончаров, П.Л., Лубенец, П.А. Биологические аспекты возделывания люцерны / П.Л. Гончаров, П.А. Лубенец. – Новосибирск: Наука, 1985. – 250 с.

27. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://government.ru/programs/208/events/

28. ГОСТ 26657-97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания фосфора. М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997.

29. ГОСТ 30504-97. корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Пламенно-фотометрический метод определения содержания калия. М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997.

30. ГОСТ Р 30504-99. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Метод Къельдаля. М.: ГОССТАНДАРТ России, 1999.

31. Гукова, М.М. Влияние условий питания на рост и накопление азота кормовыми бобами в смешанном посеве с кукурузой. / М.М. Гукова, Р.И. Богомолова. // Доклады академии наук СССР. – 1963. - №3. – С. 725-727.

32. Гукова М.М. Азотные удобрения усиливают азотфиксацию. / М.М. Гукова. // Зерновое хозяйство. – 1972. - №10. – 33 с.

33. Дадыкин, В.П. Особенности поведения растений на холодных почвах. / В.П. Дадыкин. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 278 с.

34. Дегунова, Н.Б. Получение семян люцерны изменчивой в условиях Новгородской области / Н.Б. Дегунова, Ю.Б. Данилова // Кормопроизводство, 2011. – № 6. – С. 26-28.

35. Дегунова, Н.Б. Урожайность зеленой массы люцерны изменчивой взависимости от инокуляции семян биопрепаратами / Н.Б. Дегунова, Ю.Б. Данилова // Аграрная Россия, 2011. – №5. – С. 79-80.

36. Дегунова, Н.Б. Урожайность сортов люцерны изменчивой приинокуляции ризоторфином / Н.Б. Дегунова, Ю.Б. Данилова // Кормопроизводство, 2013. – № 7. – С. 26-27.

37. Дегунова, Н.Б., Шкодина, Е.П. Эффективность применения штаммовклубеньковых бактерий на люцерне/ Н.Б. Дегунова, Е.П. Шкодина // В сб.: Реализация методологических и методических идей профессора Б.А. Доспехова в совершенствовании адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Материалы Международной научно-практической конференции, 2017. – С. 118-123.

38. Демарчук, Г.А. Использование азотных, бактериальных и биологических удобрений на многолетних травах в лесостепной зоне Западной Сибири. / Г.А. Демарчук, В.П. Данилов. // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 1998. - №1,2. – С. 49-54.

39. Демин, В.А. Система применения удобрений М.: Агропромиздат, 1989, 451 с.

40. Денисов, Г.В. Люцерна в Якутии / Г.В. Денисов, В.С. Стрельцова. – Новосибирск – Наука. Сибирская издательская фирма РАН- 2000. – 201 с.

41. Державин, Л.М. Составление проекта на применение удобрений. Рекомендации / Л.М. Державин, И.В. Колокольцева, Н.К. Скворцова, О.А. Пузанова, Т.А. Яковлева М.: МСХ РФ, 2000. - 154 с.

42. Дмитроченко, А.П. Потребности сельскохозяйственных животных в энергии, питательных веществах и нормы их кормления. / А.П. Дмитроченко, В.М. Крылов, А.В. Толчкина. // Записки Ленинградского сельскохозяйственного института. – Л.: 1973. – Т. 25. – С. 81.

43. Дмитроченко, А.П. Кормление сельскохозяйственных животных. / А.П. Дмитроченко, Л.Д. Пшеничный. – Л.: Колос, 1975. – 480 с.

44. Доросинский, Л.М. Клубеньковые бактерии и нитрагин / Л.М. Доросинский. – Л.: 1970. – 192 с.

45. Доросинский, Л.М. Конкурентная способность клубеньковых бактерий. / Л.М. Доросинский // Биологический азот в сельском хозяйстве СССР. – М.: 1989. – С. 27-33.

46. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: 2011. – 351 с.

47. Егорова, Г.С. Рациональное использование пласта многолетних трав в условиях богары / Г.С. Егорова, Н.А. Кириличева, П.М. Лемякина // Земледелие. – 2001. – № 5. – С. 27-28.

48. Егоров, А.Д. Зонально-биохимические особенности кормовых растений Якутии и некоторые проблемы развития животноводства. / А.Д. Егоров, В.Я. Потапов, П.А. Романов. – Якутск, 1962. – С. 7-21.

49. Егоров, А.Д. Химический состав кормовых растений Якутии (лугов и пастбищ). / А.Д. Егоров. – М.: Наука, 1960. – 336 с.

50. Еловская, Л.Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. / Л.Г. Еловская. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987. – 172 с.

51. Еловская, Л.Г. Почвы земледельческих районов Якутии и пути повышения их плодородия. / Л.Г. Еловская. – Якутск: Изд-во Якут. Унив., 1964. – 72 с.

52. Емельянова, А.Г. Применение азотфиксирующих препаратов на основе штаммов клубеньковых бактерий при возделывании люцерны в условиях Центральной Якутии: методические рекомендации / А.Г. Емельянова, М.Т.

Яковлева, В.И. Сивцева; Сиб. Отд-ние Рос. Акад. с.-х. наук, Якут. НИИСХ. – Якутск, 2007. – 16 с.

53. Ефимов, В.Н. Система удобрений / В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, В.П. Царенко. – Москва: «Колос», 2003. – 270 с.

54. Жизневская Г.Я. Выделение водорода клубеньками в онтогенезе клевера красного. / Г.Я. Жизневская, Е.Э. Федорова, П.Н. Дуброва. // Физиология растений. – 1985. – Т. 32. – Вып. 4. – С. 724-731.

55. Завалин, А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай/ А.А. Завалин. – М.,2005. – 302 с.

56. Завалин, А.А. Вклад биологического азота бобовых культур в азотном балансе земледелия России / А.А. Завалин, Г.Г. Благовещенская, А.П. Кожемяков. – М.: Россельхозакадемия, 2007. – С. 4-5.

57. Завалин, А.А. Влияние препаратов азотфиксирующих микроорганизмов на питание и продуктивность яровой пшеницы. / А.А. Завалин, Т.М. Кандаурова, Л.С. Чернова. // Агрохимия. – 1997. - №3. – С. 33-40.

58. Иванов, И.А. Особенности использования удобрений в Якутии / И.А. Иванов, В.С. Винокурова, В.В. Игнатьева; Институт северного луговодства. МСХ РС(Я) Республиканская агрохимическая проектно-изыскательная станция. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2008. – 132 с.

59. Кидин, В.В. Агрохимия / В.В. Кидин, С.П. Торшин // М. Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. 603 с.

60. Кидин, В.В. Система удобрения / В.В. Кидин // М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. 534 с.

61. Кишиневский, Б.А. Эффективность инокуляции гороха в зависимости почвы. / Б.А. Кишиневский. // Использование микроорганизма для повышения урожая сельскохозяйственных культур. – М.: Изд-во: «Колос». – 1966. – С. 141-146.

62. Клевенская, И.Л. Экологические и агрономические аспекты несимбиотической фиксации азота. / И.Л. Клевенская. // Биологическая фиксация азота. – Новосибирск: Наука, 1991. – 271 с.

63. Кожемяков, А.П. Биологический азот-альтернатива применению минеральных азотных удобрений в земледелии. / А.П. Кожемяков, Л.М. Доросинский. // Труды Всесоюзного научно-исследовательского института сельскохозяйственной микробиологии. – Л.: 1990. – Т. 60. – С. 18-26.

64. Кожемяков, А.П. Использование инокулянтов бобовых и биопрепаратов комплексного действия в сельском хозяйстве. / А.П. Кожемяков, И.А. Тихонович. // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – М.: 1998. № 6. – С. 7-10.

65. Кожемяков, А.П. Новое поколение биопрепаратов на основе азотфиксирующих микроорганизмов комплексного действия. / А.П. Кожемяков. // Агро-Компас. – Екатеринбург, 1998. – С. 11-12.

66. Кожемяков, А.П. Основные итоги работы с нитрагином. / А.П. Кожемяков. // Технология производства и эффективность применения бактериальных удобрений. – М., 1982. – С. 19-27.

67. Кожемяков, А.П. Использование инокулянтов бобовых и биопрепаратов комплексного действия в сельском хозяйстве /А.П. Кожемяков, И.А. Тихонович // Доклады РАСХН – М.: 1998. – № 6. – С. 7-10.

68. Кожемяков, А.П. Создание и анализ базы данных по эффективности микробных биопрепаратов комплексного действия / А.П. Кожемяков, С.Н. Белоброва, А.Г. Орлова // Сельскохозяйственная биология, – 2011. – № 3. – С. 112-115.

69. Кожемяков, А.П. Эффективность влияния биопрепаратов комплексного действия на продуктивность овощных культур в различных регионах России / А.П. Кожемяков, А.Л. Кокорина, С.В. Тимофеева // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2005. – № 2. – С. 41.

70. Коноровский, А.К. Зональность и мерзлотность почв Якутии: Препринт. / А.К. Коноровский. – Якутск: ЯНЦ СО АН СССР, 1990. – 44 с.

71. Консультативное агрохимическое обслуживание в Российской Федерации. Итоги и перспективы (40 лет Агрохимической службе) / Под ред. В.Г. Сычева. М.: ВНИИА, 2005. - С. 532-535.

72. Конюхов, Г.И. Зернобобовые культуры Якутии. / Г.И. Конюхов. – Якутск, 1963. – 51 с.

73. Кормопроизводство / Н.В. Парахин, И.В. Кобозев, И.В. Горбачев, Н.Н Лазарев, С.С. Михалев. М.: КолосС, 2006. - 432 с.

74. Кретович, В.Л. Биохимия усвоения азота воздуха растениями. / В.Л. Кретович. // Усвоение и метаболизм азота у растений. – М.: 1994. – С. 168.

75. Курилюк, Т.Т. Изучение азотфиксирующей способности бобовых растений в Центральной Якутии / Т.Т. Курилюк, А.Я. Перк, В.А. Сухов, Л.И. Шеина. // Физиолого-биохимические исследования растений Якутии. – Якутск, 1974. – С. 59.

76. Кутузова, А.А. Значение биологического азота в луговодстве Нечерноземной зоны // Кормопроизводство. М.: Колос, 1975. – С. 78-87.

77. Кутузова, А.А. Методика эффективного освоения многовариантных технологий улучшения сенокосов и пастбищ в Северном природно-экономическом районе / А.А Кутузова, А.А. Зотов, К.Н. Привалова, Д.М. Тебердиев и др. ВНИИ кормов, 2015. 68 с.

78. Кутузова, А.А. Агроэнергетическая эффективность усовершенствованных технологий и современных систем производства высококачественных объемистых кормов на луговых сенокосах в Нечерноземной зоне / А.А Кутузова, Д.М. Тебердиев, В.М. Косолапов, Л.С. Трофимова, А.В. Родионова, Н.В. Жезмер, Е.Е. Проворная, С.А. Запевалов // Кормопроизводство. 2021. № 7. - С.3-9.

79. Кшникаткина, А.Н. Семеноводство многолетних нетрадиционных кормовых культур / А.Н. Кшникаткана, Г.Е. Гришин, А.А. Галлиулин, В.Н. Еськин, С.А. Кшникаткин // Пенза. Пензенский государственный аграрный университет. 2007. – 353 с.

80. Ларин, И.В. Луговодство и пастбищное хозяйство / И.В. Ларин П.П. Бегучев П.П., Т.А. Работнов. Л.: Колос, 1975. – 528 с.

81. Лукин, С.М. Значение биологической азотфиксации в повышении плодородия дерново-подзолистых почв и продуктивности севооборотов //

Агрохимические проблемы биологической интенсификации земледелия. Владимир: ГНУ ВНИПТИОУ, 2005. - С. 65-75

82. Лупашку, М.Ф. Люцерна / М.Ф. Лупашку. – М.: Агропромиздат, 1988. – 256 с.

83. Мелкумова, Т.А. Штаммовые особенности клубеньковых бактерий, выделенных на различных сортах люцерны, возделываемых в условиях Азербайджанской ССР / Т.А. Мелкумова // Известия АН СССР. Сер. биол. – 1957. – № 5. ¬ С. 617-624.

84. Мерзлая, Г.Е. Агроэкологическая эффективность традиционных и новых органических удобрений / Г.Е. Мерзлая. // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 5. – С. 49-45.

85. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия. / Под ред. А.Л. Иванова, Л.М. Державина. // М.: Минсельхоз РФ, РАСХН, 2008. – 392 с.

86. Минеев, В.Г. Агрохимия, биология и экология почвы. / В.Г. Минеев, Е.Х. Ремпе. – М.: 1990. – 202 с.

87. Михайличенко, Б.П. Методическое пособие по агроэнергетической и экономической оценке технологий и систем кормопроизводства / Б.П. Михайличенко, А.А. Кутузова, Ю.К. Новоселов и др. М.: РАСХН, ВНИИ кормов, 1995. – 173 с.

88. Мишустин, Е.Н. Микробиология / Е.Н. Мишустин, В.Т.Емцев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 386 с.

89. Мишустин, Е.Н. Биологический азот в сельском хозяйстве и использование бактериальных препаратов / Е. Н. Мишустин // Научно методическое совещание по бактериальным удобрениям – Л., 1962. – 31 с.

90. Мишустин, Е.Н. Клубеньковые бактерии и инокуляционный процесс. // Е.Н. Мишустин, В.К. Шильникова. – М., 1973. – 278 с.

91. Муравин, Э.А./ Э.А. Муравин, В.И. Титова. / Агрохимия. // М.: КолосС, 2010. – 463 с.

92. Мусич, Н.И. Влияние удобрений на микробиологические процессы в мерзлотной лугово-черноземной солонцеватой почве. / Н.И. Мусич, З.П. Афанасьева. // Почвы долин рек Лены и Алдана. – Якутск: Якутский книгоиздат, 1969. – 104 с.

93. Орлова, А.Г. Создание и анализ базы данных по эффективности микробных биопрепаратов комплексного действия. / А.Г. Орлова, А.П. Кожемяков, С.Н. Белоброва // Сельскохозяйственная биология, 2011. – №3. – С. 112-115.

94. Орлова, А.Г. Побегообразовательная способность и урожайность различных сортов люцерны в зависимости от инокуляции семян бактериальными препаратами / А.Г. Орлова, А.П. Кожемяков // Известия Санкт - Петербургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 35. – С. 52-57.

95. Осипова, В.В. К возделыванию люцерны на Вилюе / В.В. Осипова // ГУП Полигафист ЯНЦ СО РАН. Якутск. 2000. С-24.

96. Патент №2299188 «Способ повышения урожайности зеленой массы люцерны» / М.Т. Яковлева, А.П. Кожемяков, Н.Д. Васильева / ГНУ ЯНИИСХ СО РАСХН – 2007 г.

97. Патент «2537901 «Способ повышения содержания гумуса почвы с применением штамма клубеньковых бактерий Якутский № 2 люцерны» / М.Т. Яковлева, А.П. Кожемяков / ГНК ЯНИИСХ – 2014 г.

98. Патыка, В.Ф. Роль азотфиксирующих микроорганизмов в повышении продуктивности сельскохозяйственных растений. / В.Ф. Патыка, А.В. Калиниченко, Ю.Т. Колмаз, М.В. Кислухина. // Микробиологический журнал. – 1997. – Т. 59. - №4. – С. 3-12.

99. Пейве, Я.В. Биохимия микроэлементов и проблемы азотного питания растений. / Я.В. Пейве. // Вестник Академии наук СССР. – 1965. №1. – С. 42-50.

100. Петербургский, А.В. О роли азота в современном земледелии. / А.В. Петербургский. // Международный сельскохозяйственный журнал. - 1965. – Вып. 6. – С. 82-86.

101. Петерсон, Н.В. Влияние инокулирующих штаммов ризобий на рост органов люцерны. / Н.В. Петерсон, М.М. Ничик, С.Я. Коць. // Физиология и биохимия культурных растений. – 1993. – Т. 25. - №1. – С. 28-35.

102. Петерсон, Н.В. Рост люцерны и качество её надземной массы при автономном и симбиотрофном питании азотом. / Н.В. Петерсон, С.Я. Коць, М.М. Ничик. // Физиология и биохимии культурных растений. – 1994. – Т. 26. № 3.

103. Посыпанов, Г.С. Методические аспекты изучения симбиотического аппарата бобовых культур в полевых условиях / Г.С. Посыпанов // Известия ТСХА. – 1983. – № 5. – С. 17-26.

104. Посыпанов, Г.С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха. / Г.С. Посыпанов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 300 с.

105. Посыпанов, Г.С. О применении стартовых доз азотных удобрений под бобовые культуры. / Г.С. Посыпанов. // Агрохимия. – М.: 1974. - №1. – С. 17-23.

106. Посыпанов, Г.С. Основные направления исследований по симбиотической азотфиксации. / Г.С. Посыпанов. // Известия ТСХА. – М.: 1988. – Вып. 5. – С. 101-103.

107. Проворов, Н.А. Направления конструирования штаммов клубеньковых бактерий с повышенной симбиотической эффективностью / Н.А. Проворов, Б.В. Симаров. // Молекулярные механизмы генетических процессов. – М.: 1991. – С. 190-194.

108. Проворов, Н.А. Генетика симбиотической азотфиксации у клубеньковых бактерий. / Н.А. Проворов, А.А. Аронштам. // Итоги науки и техники.: Серия Микробиология. – М., 1991. – Т. 23. – С. 3-97.

109. Проворов, Н.А. Действие инокуляции Rhizobium Meliloti на урожайность и биохимические показатели люцерны. / Н.А. Проворов, М.М. Кирсонов, А.А. Грушин, Г.В. Симаров. // Физиология и биохимия культурных растений. – 1994. – Т. 26. - №3. – С. 281-288.

110. Программа и методика проведения научных исследований по луговодству (по Межведомственной координационной программе НИР

Россельхозакадемии на 2011-2015 гг.) / А.А. Кутузова, К.Н. Привалова, А.А Зотов, Д.М. Тебердиев, И.А. Трофимов и др. М.: ФГУ РЦСК, 2011. – 192 с.

111. Программа и методика исследований в географической сети полевых опытов по комплексному применению средств химизации в земледелии. М.: ВИУА, 1990.- 141 с.

112. Прянишников, Д.Н. Азот в жизни растений и в земледелии СССР / Д.Н. Прянишников // М.- Л.: Изд-во АН СССР. – 1945. – 197 с.

113. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечерноземной зоны Российской Федерации до 2030 года. / Под ред. С.Г. Митина, А.Л. Иванова. Версия 2.0. М.: ООО «Издательство МБА», 2021. – 400 с.

114. Рыжкова, А.С. Изучение конкурентной способности клубеньковых бактерий клевера и гороха с различной активностью. / А.С. Рыжкова и др. // Микробиология и промышленность. – М.: 1971. - №10. – С. 28-71.

115. Садыков, Б.Ф. Биологическая азотфиксация в агроценозах. / Б.Ф. Садыков. – Уфа. 1989. – 99 с.

116. Симаров, Б.В. Генетические основы селекции клубеньковых бактерий. / Б.В. Симаров, А.А. Аронштам, Н.И. Новикова и др. – Л.: 1990. – 192 с.

117. Система ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия) на период 2016-2020 годы / МСХ и ПП РС(Я), ФГБНУ ЯНИИСХ – Якутск, 2017 г. – 415 с.

118. Соромотина, А.А. Технология возделывания люцерны в Центральной Якутии: методические рекомендации // А.А. Соромотина / отд-ние НПО «Якутское». Якут. НИИСХ. – Новосибирск - 1993. – 32 с.

119. Соромотина, А.А. Люцерна в Якутии // А.А. Соромотина, А.Г. Емельянова, Х.И. Максимова / Становление и зрелость сельскохозяйственной науки Якутии и пути ее развития в условиях рынка. – Новосибирск: 2000. – РАСХН Сиб. отд. ЯНИИСХ – 448 с.

120. Спиридонов, А.М. Реализация потенциала вида люцерны изменчивой в условиях Ленинградской области //А.М. Спиридонов / Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2011. № 24. – С. 32-39.

121. Спирина, В.З. Агрохимические методы исследования почв, растений и удобрений / В.З. Спирина, Т.П. Соловьева: Учебное пособие – Томск: Изд-во Дом Томского государственного университета, 2014 г. – 336 с.

122. Справочник по луговодству / Под ред. Н.Г. Андреева. Составитель Р.А. Афанасьев. // М.: Московский рабочий, 1976. – 216 с.

123. Становление и зрелость сельскохозяйственной науки Якутии и пути ее развития в условиях рынка: Сборник материалов научно-практической конференции, посвящ. 60-летию организации в Якутии гос. селекц. и респ. животновод. опытн. станции. Новосибирск. 2000. – 448 с.

124. Степанов, А.И. Агроэкологические основы производства и применения органических удобрений на мерзлотных почвах Якутии. Автореф. дис. доктора с.-х. наук. М., 2016. 50 с.

125. Сычев, В.Г. Влияние длительного применения минеральных и органических удобрений на основные показатели различных типов почв/ В.Г. Сычев. // Плодородие. 2021. № 4. – С. 3-5.

126. Сычев, В.Г. Экология применения органических удобрений /В.Г Сычев, О.А. Соколов, А.А. Завалин, Н.Я. Шмырева. /М.: ВНИИА, 2017. – 336 с.

127. Технология возделывания многолетних бобовых трав (клевер, люцерна) на корм и семена (практическое руководство) / МСХ и ПР Нижегородской области, ГБУ НО «ИКЦ АПК». Нижний Новгород, 2014 г. – 22 с.

128. Тихонович, И.А. Генетика симбиотической азотфиксации с основами селекции. / И.А. Тихонович, Н.А. Проворов. // Спб.: 1998. – 194 с.

129. Тихонович, И.А. Использование генетических факторов макросимбионта для повышения эффективности биологической азотфиксации. / И.А. Тихонович. // Биологический азот в сельском хозяйстве СССР. – М.: 1989. – С. 166-181.

130. Трепачев, Е.П. О некоторых аспектах симбиотической фиксации азота бобовыми культурами. Е.П. Трепачев. // Агрохимия. 1976. № 1. - С. 138-147.

131. Умаров, М.М. Ассоциативная азотфиксация. / М.М. Умаров. – М.: МГУ, 1986. – 136 с.

132. Федоров, Е.А. Азотфиксирующая система клевера красного при избыточном увлажнении. / Е.А. Федоров. // Известия Академии наук СССР. – М.: 1987. - №2. – С. 272-277.

133. Федоров, М.В. Влияние условий выращивания бобовых растений га образование клубеньков и урожай растений. / М.В. Федоров. В.П. Подъяпольская. // Доклады Академии наук СССР. – 1951. - №1. – С. 121-124.

134. Федоров, М.В. Биологическая фиксация азота атмосферы / М.В. Федор0ов. // М.: Сельхозиздат, 1952. – 85 с.

135. Филиппова, К.Ф. Влияние бора и молибдена на биологическую фиксацию азота люцерной. / К.Ф. Филиппова. // Агрохимия. – 1964. - №3. – С. 150-155.

136. Хенниг, А. Минеральные вещества, витамины, биостимуляторы в кормлении сельскохозяйственных жтвотных / А. Хенниг. / Пер. с нем. Под ред. А.Л. Падучевой и Ю.И. Раецкой // М.: Колос, 1976. – 560 с.

137. Чундерова, А.И. О взаимоотношениях клубеньковых бактерий с растением-хозяином и перспективы повышения эффективности симбиоза. / А.И. Чундерова. // Тр. Всесоюз. НИИСХ микробиологии. - Л.: 1980. – Т. 50. – С. 7-29.

138. Шашко, Д.И. Климатические условия земледелия Центральной Якутии. / Д.И. Шашко. // М.: 1961. – 264 с.

139. Шеуджен, А.Х. Люцерна / А.Х. Шеуджен, Х.Д. Онищенко, Х.Д. Хурум –Майкоп: 2007. – 225 с.

140. Шильникова, В.К. Начальные этапы инфицирования люцерны клубеньковых бактерий. / В.К. Шильникова и др. // Известия Академии наук СССР: Серия биология. - 1974. - № 2. С. 307-314.

141. Широких, А.А. Методические подходы к изучению микроорганизмов прикорневой зоны растений. /А.А. Широких, О.В. Мерзаева, И.Г. Широких. // Сельскохозяйственная биология. – 2007. - №1. – С. 43-53.

142. Шкуркин, С.И. Становление и развитие Географической сети полевых опытов с удобрениями в России (к 80-летию Географической сети полевых опытов с удобрениями). С.И. Шауркин, С.А. Шафран, А.Н. Налиухин // Плодородие. 2021. № 3. – С. 12-15.

143. Шурхно, Р.А. Микробиологический статус микрофлоры ризосферы многолетних бобовых трав как критерий оценки и прогноза состояния почвы. / Р.А. Шурхно, О.Л. Шайтанов, Р.Г. Гареев, Р.П. Наумова. // Сельскохозяйственная биология. – 2004. - №3. – С. 61-66.

144. Яковлева, М.Т. Продуктивность и качество люцерны серповидной в зависимости от применения азотфиксирующих препаратов в условиях Центральной Якутии: автореф. дисс. канд. с.-х. наук: 06.01.09 / Яковлева Мария Тимофеевна. – Якутск, 2007. – 19 с.

145. Allen, O.N., Allen E.K. Response of the peanut plant to inoculation with rhizobia, with special reference to morphological development of the nodules. – Bot. Gaz., 1940, 102. - Pp. 121-142.

146. Allen, O.N., Baldwin I.I. Rhizobia-legume relationships- Soil Sci., 1954. 78. № 6 - Pp. 415-427.

147. Belimov, A.A., Kunakova, A.M., Khamova, O.F. et.al. Survival of associative bacteria on roots and efficiency of inoculation under various environmental conditions // Nitrogen Fixation: Fundamentals and Applications. 1995. - Pp. 148.

148. Bell, E.F., Nutman, P.S. Experiments on nitrogen fixation by nodulated lucerne / Plant and Soil, 1971, Spec, vol. - Pp. 231-264.

149. Douglas, A.E. Symbiotic interactions. Oxford etc., 1994. - Pp. 148.

150. Eilts J A, G G Mittelbach, H L Reynolds, and K L Gross. Resource heterogeneity, soil fertility, and species diversity: impacts of clonal species on plant communities. // American Naturalist. - 2011. – 177. – P. 574-588.

151. Gibson, A.H., Date, R.A., Ireland, J.A. et.al. A comparison of competitiveness and persistence amongst five strains of Rhizobium trifolii / Soil Biol. And Biochem., 1976. Vol. 222. N 5. - Pp. 395-401.

152. Gruber, P. Inhaltsstoffe im Wiesenfutter Österreichs und ihre Beziehungen zueinander // Bodenkultur. 1972. № 4. - S. 350-359.

153. Hardarson, G., Jones, D.G. The inheritance of preference for strains of Rhizobium trifolii by white clover (Trifolium repens) // Ann/ Appl. Biol. 1979, vol. 92. - Pp. 329-333.

154. Knight, T.J., Langston-Unkefer, P.J. Enhancement of symbiotic dinitrogen fixation by a toxin-releasing plant pathogen // Science. 1988, vol. 241. - Pp. 951-954.

155. Msfield, G.B. The effect of irrigation on nodulation of some leguminous crops // Empire J / Exptl Agric., 1961. 29. N 113. - Pp. 51-59.

156. Parente, G. and Bovolenta, S. The role of grassland in rural tourism and recreation in Europe. // Grassland – a European Resource? Book of Abstracts. 24th General Meeting of the European Grassland Federation. Lublin, Poland. 3–7 June 2012. Oficyna Wydawnicza Garmond. Poznań, 2012. – P. 139.

157. Peeters, A. Past and future of European grasslands. The challenge of the CAP towards 2020. / Alan Peeters // Grassland – a European Resource? Proceedings of the 24th General Meeting of the European Grassland Federation. Lublin, Poland. 3–7 June 2012. – Oficyna Wydawnicza Garmond. Poznań, 2012. – P. 84.P. 17-34.

158. Porensky L.M. et al. Can initial intraspecific spatial aggregation increase multi-year coexistence by creating temporal priority? / Lauren M. Porensky, Kurt J. Vaughn, Truman P. Young // Ecological Applications. – 2012. – 22(3). – P. 927–936.

159. Pronczuk, J. Floristic changes in the meadow sward as a result of different moisture content and fertilization. / J. Pronczuk, H. Pawist. // XIII International Grassland Congress, Section, Leipzig, GDR. 1977. - Pp. 476-483.

160. Taylor, D.L., Bruns, T.D. Independent, specialized invasions of ectomycorrhizal mutualisms by two nonphotosynthetic orchids // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1997, vol. - Pp. 4510-4515.

161. Wilson, M., Lindow, S.E. Research of recombinant microorganism // Annu. Rev. Microbiol. 1993, vol. 47. - Pp. 913-944.

162. Zhang X. et al. Effect of nitrogen fertilization on net nitrogen mineralization in a grassland soil, northern China / X. Zhang, Q. Wang, F. S. Gilliam, W. Bai, X. Han, L. Li // Grass and Forage Science. 2012. Vol. 67, Issue 2. – Pp. 219–230.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Схема опыта

I-повторность	II-повторность	III-повторность	IV-повторность
6	11	16	21
7	12	17	22
8	13	18	23
9	14	19	1
10	15	20	2
11	16	21	3
12	17	22	4
13	18	23	5
14	19	1	6
15	20	2	7
16	21	3	8
17	22	4	9
18	23	5	10
19	1	6	11
20	2	7	12
21	3	8	13
22	4	9	14
23	5	10	15
1	6	11	16
2	7	12	17
3	8	13	18
4	9	14	19
5	10	15	20

Приложение 2

Рисунок 1 - Посев люцерны серповидной Якутской желтой на стационаре ЯНИИСХ

Приложение 3

Рисунок 2 - Общий вид посева люцерны серповидной Якутской желтой

Приложение 4

Рисунок 3 - Люцерна серповидная Якутская желтая в фазу цветения

Приложение 5

Таблица 1 - Сумма осадков по декадам в вегетационный период 2018-2022 гг., мм (по данным АМС «Покровская»)

Месяц	Декада	Средне-многолет-ние данные	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Май	1	4,3	7,0	5,0	6,6	0,4	2,4
	2	7,2	21,1	2,0	2,1	7,7	3,3
	3	7,0	4,5	7,0	2,4	2,2	18,8
	за месяц	18,5	32,6	14,0	11,1	10,3	24,5
Июнь	1	7,5	0	3,0	18,5	0,9	15,0
	2	8,4	12,3	0,0	17,7	4,0	7,9
	3	10,5	11,7	25,0	0,0	5,4	10,7
	за месяц	26,4	24,0	28,0	36,2	10,3	33,6
Июль	1	9,1	0	27,0	10,7	1,9	6,1
	2	17,9	18,0	2,0	5,9	12,6	51,0
	3	14,0	12,9	0,0	18,8	16,7	21,4
	за месяц	41,0	30,9	29,0	35,4	31,2	78,5
Август	1	11,6	19,1	26,0	2,9	1,4	8,5
	2	16,6	33,7	18,0	2,0	8,3	21,3
	3	11,5	18,2	9,0	0,0	20,8	9,5
	за месяц	39,7	71,0	53,0	4,9	30,5	39,3
Сентябрь	1	5,5	6,9	6,0	5,7	0	8,9
	2	14,9	0,4	36,0	5,0	27,5	5,5
	3	5,0	0,5	6,0	5,1	2,9	10,7
	за месяц	25,4	7,8	48,0	15,8	30,4	25,1
Сумма осадков за вегетационный период		151,0	166,3	172,0	103,4	112,7	201,0

Приложение 6

Таблица 2 - Температура воздуха по декадам в вегетационные периоды 2018-2022 гг., °С (по данным АМС «Покровская»)

Месяц	Декада	Средне-многолет-ние данные	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Май	1	4,8	7,1	4,1	2,3	7,0	3,3
	2	7,4	5,3	9,9	9,7	6,5	5,5
	3	11,3	13,3	9,8	11,9	11,0	10,5
	Среднее	7,8	8,6	7,9	7,9	8,2	6,4
Июнь	1	15,6	15,2	15,4	13,8	15,4	18,4
	2	16,5	14,0	17,9	17,1	17,0	16,3
	3	19,9	17,2	18,6	20,1	22,5	21,3
	Среднее	17,3	15,5	17,3	17,0	18,3	18,7
Июль	1	20,3	23,7	16,7	17,3	21,9	22,0
	2	20,1	17,9	19,8	22,4	18,4	22,1
	3	18,8	15,2	17,8	19,5	19,5	22,0
	Среднее	19,7	18,9	18,1	19,7	19,9	22,0
Август	1	16,6	14,2	15,1	16,6	18,4	19,0
	2	15,5	16,8	15,3	11,8	18,4	15,3
	3	12,7	15,2	13,6	9,9	14,0	10,7
	Среднее	14,9	15,4	14,6	12,7	16,9	15,0
Сентябрь	1	8,7	6,6	10,7	9,7	8,4	8,2
	2	6,2	5,2	5,5	7,9	7,5	5,2
	3	3,9	4,6	3,1	5,8	4,8	1,2
	Среднее	6,3	5,5	6,4	7,8	6,9	4,8
Средняя за вегетационный период		13,2	12,8	12,8	13,0	14,0	13,4

Приложение 7

Таблица 3 - Количество клубеньков, шт./растение

Варианты	2019 г.	2020 г.	2022 г.	Среднее
Контроль	182	69	41	97
БП	260	92	46	132
$N_{60}P_{60}$	171	67	29	89
$N_{60}K_{60}$	193	64	39	99
$P_{60}K_{60}$	157	61	34	84
$N_{30}P_{60}K_{60}$	133	75	37	82
$N_{60}P_{60}K_{60}$	173	67	38	93
$N_{90}P_{60}K_{60}$	142	84	35	87
$N_{60}K_{60}P_{30}$	153	54	41	83
$N_{60}K_{60}P_{90}$	176	62	46	95
$N_{60}P_{60}K_{30}$	211	41	39	97
$N_{60}P_{60}K_{90}$	213	73	48	98
БП+$N_{60}P_{60}$	199	55	55	103
БП+$N_{60}K_{60}$	201	65	41	102
БП+$P_{60}K_{60}$	166	58	53	92
БП+$N_{30}P_{60}K_{60}$	199	95	45	113
БП+$N_{60}P_{60}K_{60}$	187	69	45	100
БП+$N_{90}P_{60}K_{60}$	206	63	51	107
БП+$N_{60}K_{60}P_{30}$	183	79	40	101
БП+$N_{60}K_{60}P_{90}$	200	82	40	107
БП+$N_{60}P_{60}K_{30}$	167	85	35	96
БП+$N_{60}P_{60}K_{90}$	178	74	24	92
$НСР_{05}$				28

Приложение 8

Таблица 4 – Масса клубеньков люцерны серповидной в годы исследований, г/растение

Варианты опыта	2019 г.	2020 г.	2022 г.	Средняя
Контроль	0,40	0,17	0,10	0,22
БП	0,55	0,22	0,11	0,29
$N_{60}P_{60}$	0,35	0,13	0,07	0,18
$N_{60}K_{60}$	0,39	0,14	0,10	0,21
$P_{60}K_{60}$	0,32	0,13	0,08	0,18
$N_{30}+P_{60}K_{60}$	0,27	0,14	0,09	0,16
$N_{60}+P_{60}K_{60}$	0,33	0,15	0,09	0,19
$N_{90}+P_{60}K_{60}$	0,28	0,19	0,09	0,19
$N_{60}K_{60}+P_{30}$	0,30	0,12	0,10	0,17
$N_{60}K_{60}+P_{90}$	0,35	0,14	0,11	0,20
$N_{60}P_{60}+K_{30}$	0,45	0,09	0,10	0,21
$N_{60}P_{60}+K_{90}$	0,45	0,19	0,12	0,25
БП+$N_{60}P_{60}$	0,39	0,13	0,14	0,22
БП+$N_{60}K_{60}$	0,39	0,15	0,10	0,21
БП+$P_{60}K_{60}$	0,33	0,13	0,13	0,20
БП+$N_{30}+P_{60}K_{60}$	0,43	0,23	0,11	0,26
БП+$N_{60}+P_{60}K_{60}$	0,40	0,16	0,11	0,22
БП+$N_{90}+P_{60}K_{60}$	0,41	0,15	0,13	0,23
БП+$N_{60}K_{60}+P_{30}$	0,40	0,19	0,10	0,23
БП+$N_{60}K_{60}+P_{90}$	0,44	0,20	0,10	0,25
БП+$N_{60}P_{60}+K_{30}$	0,36	0,20	0,08	0,21
БП+$N_{60}P_{60}+K_{90}$	0,36	0,18	0,06	0,20
$НСР_{05}$				0,06

Приложение 9

Таблица 5 - Урожайность сухой массы люцерны серповидной, т/га

Вариант опыта	2019 г.	2020 г.	2022 г.	Среднее
Контроль	8,7	3,9	3,8	5,5
Контроль – многолетние злаковые травы	13,2	1,4	1,4	5,3
БП	10,9	4,3	4,4	6,5
$N_{60}P_{60}$	8,8	4,9	3,1	5,6
$N_{60}K_{60}$	8,7	4,3	4,1	5,7
$P_{60}K_{60}$	11,0	4,2	4,7	6,6
$N_{30}P_{60}K_{60}$	9,6	4,1	5,8	6,5
$N_{60}P_{60}K_{60}$	8,8	3,6	5,0	5,8
$N_{90}P_{60}K_{60}$	8,8	3,9	6,0	6,2
$N_{60}K_{60}P_{30}$	7,0	4,2	4,7	5,3
$N_{60}K_{60}P_{90}$	7,8	3,7	5,5	5,7
$N_{60}P_{60}K_{30}$	12,4	4,3	5,1	7,3
$N_{60}P_{60}K_{90}$	9,1	4,2	3,9	5,7
БП+$N_{60}P_{60}$	6,6	4,5	4,9	5,3
БП+$N_{60}K_{60}$	8,1	4,5	5,9	6,2
БП+$P_{60}K_{60}$	7,6	4,2	4,3	5,4
БП+$N_{30}P_{60}K_{60}$	6,6	4,9	5,0	5,5
БП+$N_{60}P_{60}K_{60}$	6,7	4,1	4,8	5,2
БП+$N_{90}P_{60}K_{60}$	6,6	4,6	5,4	5,5
БП+$N_{60}K_{60}P_{30}$	5,5	4,2	4,4	4,7
БП+$N_{60}K_{60}P_{90}$	7,7	4,0	3,5	5,1
БП+$N_{60}P_{60}K_{30}$	7,1	3,8	3,2	4,7
БП+$N_{60}P_{60}K_{90}$	7,8	4,4	3,0	5,1
$НСР_{05}$	$F_ф<F_{05}$	0,7	0,5	1,8

Приложение 10

Таблица 6 - Урожайность зеленой массы люцерны серповидной, т/га

Вариант опыта	2019 г.	2020 г.	2022 г.	Среднее
Контроль	21,7	10,3	9,5	13,8
БП	26,2	10,2	10,9	15,8
$N_{60}P_{60}$	22,0	9,4	7,2	12,9
$N_{60}K_{60}$	21,7	10,4	10,2	14,1
$P_{60}K_{60}$	27,5	9,7	11,8	16,3
$N_{30}+P_{60}K_{60}$	24,0	9,6	14,4	16,0
$N_{60}+P_{60}K_{60}$	22,0	8,9	12,5	14,5
$N_{90}+P_{60}K_{60}$	22,0	9,3	14,9	15,4
$N_{60}K_{60}+P_{30}$	17,5	10,1	11,6	13,1
$N_{60}K_{60}+P_{90}$	19,5	8,9	13,7	14,0
$N_{60}P_{60}+K_{30}$	25,0	10,2	12,8	16,0
$N_{60}P_{60}+K_{90}$	22,7	9,9	9,9	14,2
БП+$N_{60}P_{60}$	16,5	10,7	12,4	13,2
БП+$N_{60}K_{60}$	20,2	10,9	14,8	15,3
БП+$P_{60}K_{60}$	19,0	9,9	10,8	13,2
БП+$N_{30}+P_{60}K_{60}$	16,5	11,5	12,6	13,5
БП+$N_{60}+P_{60}K_{60}$	16,7	9,8	11,7	12,7
БП+$N_{90}+P_{60}K_{60}$	16,6	11,1	13,7	13,8
БП+$N_{60}K_{60}+P_{30}$	13,7	9,8	11,1	11,5
БП+$N_{60}K_{60}+P_{90}$	19,2	9,6	8,8	12,5
БП+$N_{60}P_{60}+K_{30}$	17,7	9,0	8,1	11,6
БП+$N_{60}P_{60}+K_{90}$	19,5	10,5	7,5	12,5
$НСР_{05}$	$F_ф<F_{05}$	1,3	1,0	2,2

Приложение 11

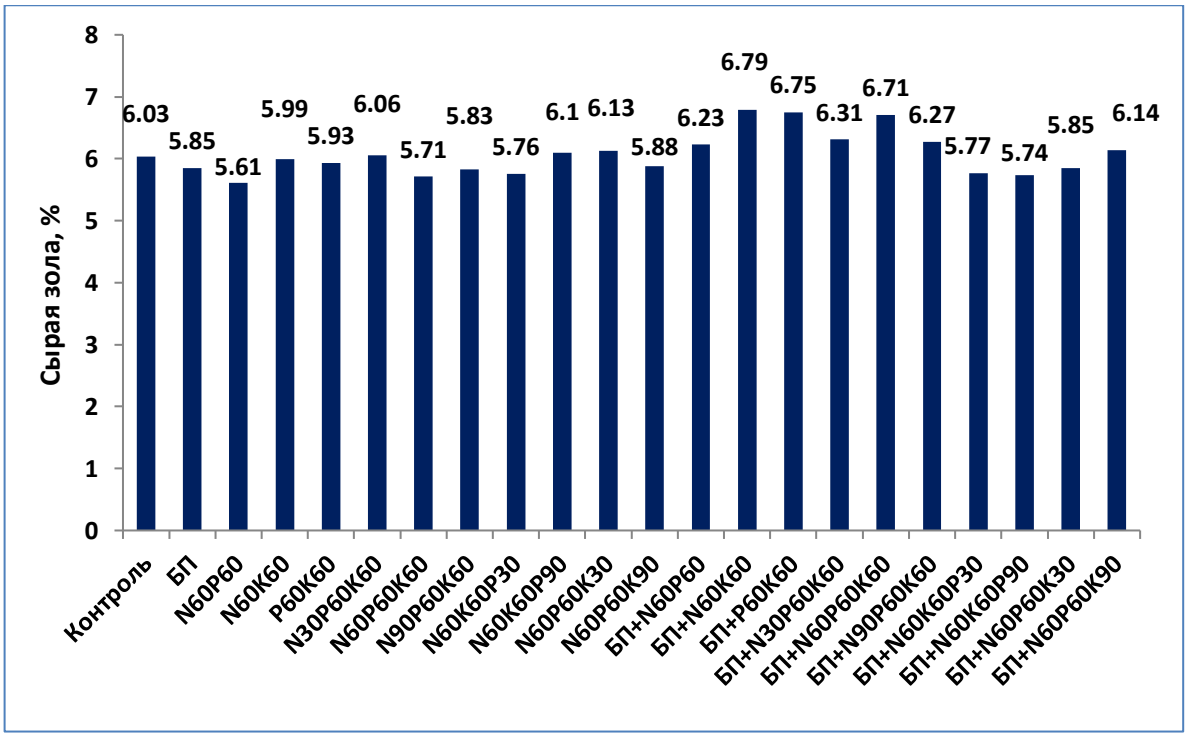

Рисунок 4 - Содержание сырой золы в сене люцерны серповидной, в среднем за 3 года, %

Приложение 12

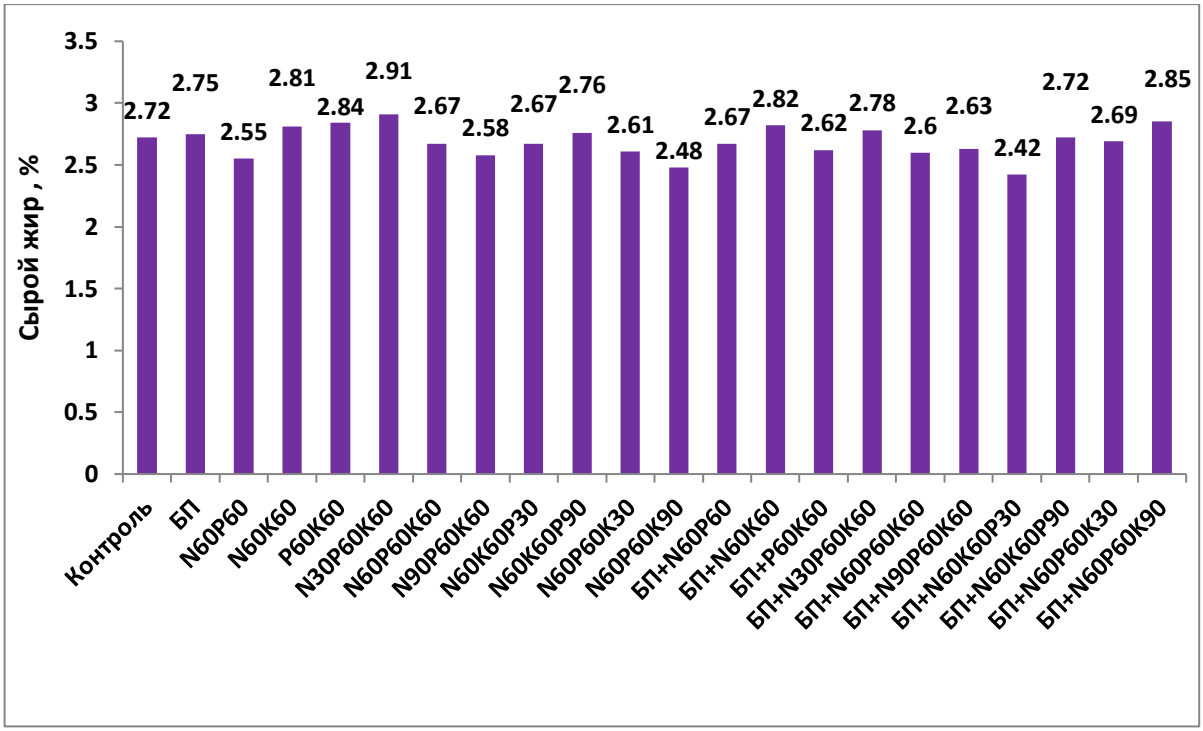

Рисунок 5 - Содержание сырого жира в сене люцерны серповидной, в среднем за 3 года, %

Приложение 13

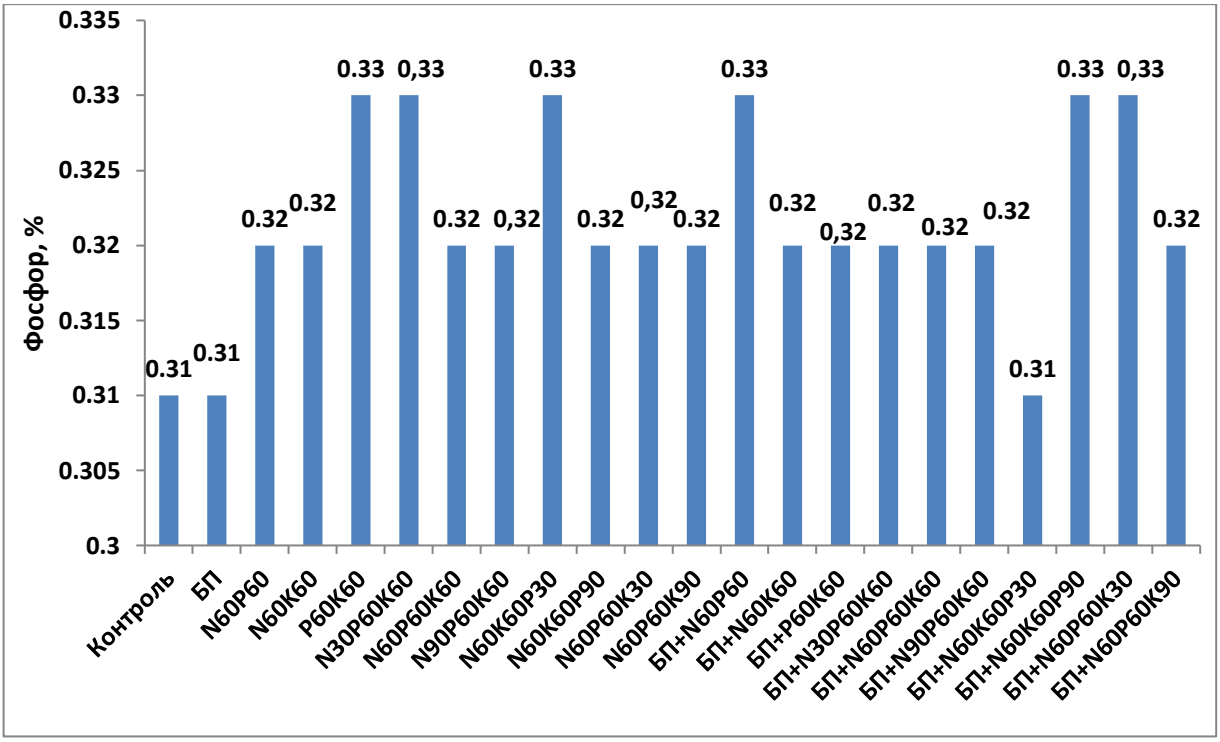

Рисунок 6 - Содержание фосфора в сене люцерны серповидной, в среднем за 3 года, %

Приложение 14

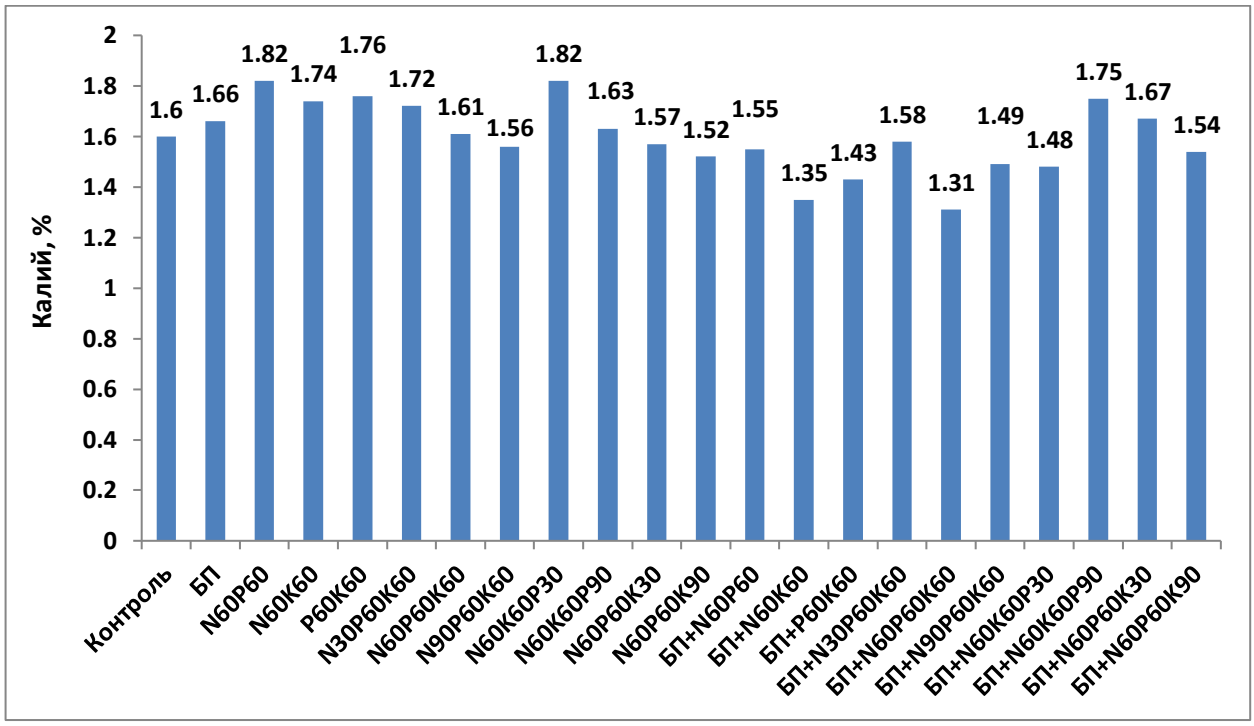

Рисунок 7 - Содержание калия в сене люцерны серповидной, в среднем за 3 года, %

Приложение 15

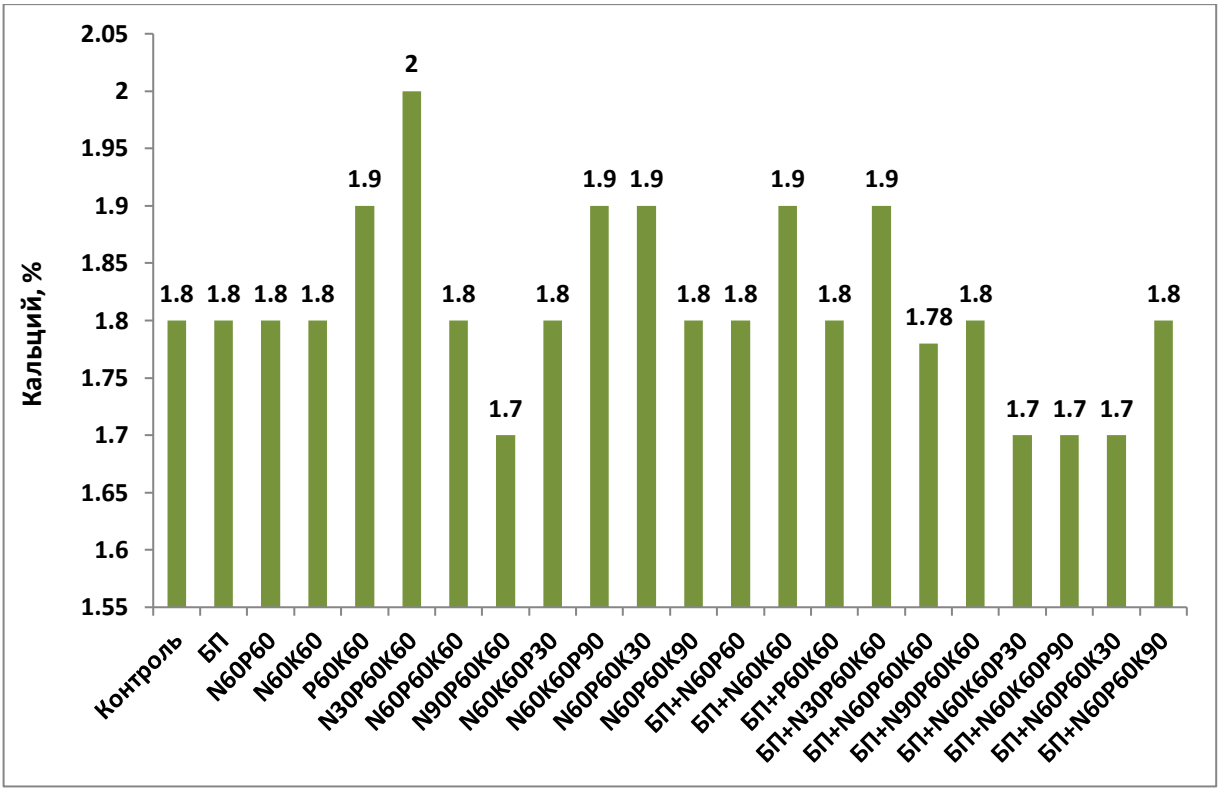

Рисунок 8 - Содержание кальция в сене люцерны серповидной, в среднем за 3 года, %

Приложение 16

Таблица 7 - Вынос питательных элементов при возделывании люцерны серповидной (в среднем за 3 года)

Вариант опыта	Вынос, кг/га		
	азота	фосфора	калия
Контроль	130,6	17,0	88,0
$N_{60}P_{60}$	106,7	18,2	101,9
$N_{60}K_{60}$	136,4	18,2	99,2
$P_{60}K_{60}$	148,9	21,8	116,1
$N_{30}P_{60}K_{60}$	151,5	21,5	111,8
$N_{60}P_{60}K_{60}$	135,2	18,6	93,4
$N_{90}P_{60}K_{60}$	144,5	19,8	96,7
$N_{60}K_{60}P_{30}$	109,4	17,5	96,5
$N_{60}K_{60}P_{90}$	137,0	18,2	92,9
$N_{60}P_{60}K_{30}$	181,0	23,4	114,6

Приложение 17

Таблица 8 - Баланс питательных элементов при возделывании люцерны серповидной (в среднем за 3 года)

Вариант опыта	Баланс, кг/га		
	азота	фосфора	калия
Контроль	-130,6	-17,0	-88,0
$N_{60}P_{60}$	-46,7	+41,8	-101,9
$N_{60}K_{60}$	-76,4	-18,2	-39,2
$P_{60}K_{60}$	-148,9	+38,2	-56,1
$N_{30}P_{60}K_{60}$	-121,5	+38,5	-51,8
$N_{60}P_{60}K_{60}$	-75,2	+41,4	-33,4
$N_{90}P_{60}K_{60}$	-54,5	+40,2	-36,7
$N_{60}K_{60}P_{30}$	-49,4	+42,5	-66,5
$N_{60}K_{60}P_{90}$	-77	+41,8	-2,9
$N_{60}P_{60}K_{30}$	-12,1	+36,6	-84,6

Приложение 18

Таблица 9 - Влияние удобрений и биопрепарата на $pH_{водн}$ почвы по годам опыта

Вариант опыта	$pH_{водн}$		
	2019 г.	2020 г.	2022 г.
Действие азотных удобрений			
Контроль	8,8	8,6	7,8
Фон $P_{60}K_{60}$	8,9	8,6	8,1
$P_{60}K_{60}+N_{30}$	8,9	8,7	8,1
$P_{60}K_{60}+N_{60}$	9,0	8,6	8,4
$P_{60}K_{60}+N_{90}$	8,8	8,7	8,3
Действие фосфорных удобрений			
Контроль	8,8	8,6	7,8
Фон $N_{60}K_{60}$	8,8	8,8	8,1
$N_{60}K_{60}+P_{30}$	8,7	8,8	8,5
$N_{60}K_{60}+P_{90}$	8,7	8,7	8,5
Действие калийных удобрений			
Контроль	8,8	8,6	7,8
Фон $N_{60}P_{60}$	8,8	8,8	8,2
$N_{60}P_{60}+K_{30}$	8,8	8,7	8,6
$N_{60}P_{60}+K_{90}$	8,7	8,7	8,6
Действие биопрепарата			
Контроль	8,8	8,6	7,8
БП	8,8	8,7	8,1
БП+$P_{60}K_{60}$	8,7	8,8	8,8
БП+$N_{30}P_{60}K_{60}$	8,8	8,8	8,7
БП+$N_{60}P_{60}K_{60}$	8,8	8,7	8,7

Приложение 19

Таблица 10 - Влияние удобрений и биопрепарата на pH_{kcl} почвы по годам опыта

Вариант опыта	pH_{kcl}		
	2019 г.	2020 г.	2022 г.
Действие азотных удобрений			
Контроль	7,65	7,63	7,80
Фон $P_{60}K_{60}$	7,67	7,63	7,69
$P_{60}K_{60}+N_{30}$	7,69	7,55	7,70
$P_{60}K_{60}+N_{60}$	7,74	7,49	7,65
$P_{60}K_{60}+N_{90}$	7,72	7,50	7,69
Действие фосфорных удобрений			
Контроль	7,65	7,63	7,80
Фон $N_{60}K_{60}$	7,72	7,62	7,60
$N_{60}K_{60}+P_{30}$	7,58	7,49	7,65
$N_{60}K_{60}+P_{90}$	7,56	7,63	7,69
Действие калийных удобрений			
Контроль	7,65	7,63	7,80
Фон $N_{60}P_{60}$	7,73	7,63	7,86
$N_{60}P_{60}+K_{30}$	7,55	7,63	7,69
$N_{60}P_{60}+K_{90}$	7,51	7,56	7,65
Действие биопрепарата			
Контроль	7,65	7,63	7,80
БП	7,72	7,64	7,93
БП+$P_{60}K_{60}$	7,51	7,71	7,69
БП+$N_{30}P_{60}K_{60}$	7,69	7,65	7,65
БП+$N_{60}P_{60}K_{60}$	7,66	7,68	7,73

Приложение 20

Таблица 11 - Влияние удобрений и биопрепарата на содержание P_2O_5 в почве по годам опыта

Вариант опыта	P_2O_5, мг/кг		
	2019 г.	2020 г.	2022 г.
Действие азотных удобрений			
Контроль	227	134	229
Фон $P_{60}K_{60}$	222	159	213
$P_{60}K_{60}+N_{30}$	227	166	168
$P_{60}K_{60}+N_{60}$	249	155	180
$P_{60}K_{60}+N_{90}$	214	173	184
Действие фосфорных удобрений			
Контроль	227	134	229
Фон $N_{60}K_{60}$	204	172	240
$N_{60}K_{60}+P_{30}$	206	206	169
$N_{60}K_{60}+P_{90}$	212	179	170
Действие калийных удобрений			
Контроль	227	134	229
Фон $N_{60}P_{60}$	203	189	239
$N_{60}P_{60}+K_{30}$	213	184	168
$N_{60}P_{60}+K_{90}$	207	185	167
Действие биопрепарата			
Контроль	227	134	229
БП	215	144	220
БП+$P_{60}K_{60}$	204	187	155
БП+$N_{30}P_{60}K_{60}$	196	182	180
БП+$N_{60}P_{60}K_{60}$	200	164	173

Приложение 21

Таблица 12 - Влияние удобрений и биопрепарата на содержание K_2O в почве по годам опыта

Вариант опыта	K_2O, мг/кг		
	2019 г.	2020 г.	2022 г.
Действие азотных удобрений			
Контроль	291	252	261
Фон $P_{60}K_{60}$	271	253	270
$P_{60}K_{60}+N_{30}$	288	256	261
$P_{60}K_{60}+N_{60}$	287	257	262
$P_{60}K_{60}+N_{90}$	294	257	264
Действие фосфорных удобрений			
Контроль	291	252	261
Фон $N_{60}K_{60}$	271	253	276
$N_{60}K_{60}+P_{30}$	284	264	261
$N_{60}K_{60}+P_{90}$	282	267	254
Действие калийных удобрений			
Контроль	291	252	261
Фон $N_{60}P_{60}$	251	246	268
$N_{60}P_{60}+K_{30}$	282	258	260
$N_{60}P_{60}+K_{90}$	290	272	260
Действие биопрепарата			
Контроль	291	252	261
БП	266	257	265
БП+$P_{60}K_{60}$	286	269	266
БП+$N_{30}P_{60}K_{60}$	262	268	266
БП+$N_{60}P_{60}K_{60}$	276	260	264