

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»

На правах рукописи

ДИКАРЕВА СВЕТЛАНА АЛЕКСАНДРОВНА

**ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ
АГРОФИТОЦЕНОЗОВ ЛЮЦЕРНЫ ИЗМЕНЧИВОЙ И ЛЮЦЕРНЫ
ЖЕЛТОЙ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ
ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ**

Специальность: 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
Лазарев Николай Николаевич,
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор

Москва – 2025

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВЫХ АГРОФИТОЦЕНОЗОВ ЛЮЦЕРНЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ	10
1.1. Люцерна в условиях изменения климата	10
1.2. Люцерна в системе лугопастбищного хозяйства	13
1.3. Устойчивость люцерны на почвах разной степени окультуренности	14
1.4. Биологические особенности люцерны, обеспечивающие формирование устойчивых и высокопродуктивных травостоев	17
1.5. Биологическая фиксация азота люцерной в различных экологических условиях	20
1.6. Урожайность и качество кормов из люцерны	26
1.7. Применение защитно-стимулирующих препаратов для повышения стрессоустойчивости люцерны.....	27
1.8. Люцерна желтая и эспарцет – альтернативные бобовые травы в системе кормопроизводства	31
ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ...	38
2.1. Место и почвенно-климатические условия проведения опытов	38
2.2. Схемы опытов и методика исследований	40
2.3. Характеристика метеорологических условий в годы проведения исследований	45
ГЛАВА 3. ФОРМИРОВАНИЕ ТРАВСТОЕВ ЛЮЦЕРНЫ ИЗМЕНЧИВОЙ И ЛЮЦЕРНЫ ЖЕЛТОЙ НА СРЕДНЕОКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ	50
3.1. Ботанический состав травостоев	50
3.2. Динамика густоты растений и плотности травостоев.....	52
3.3. Динамика высоты люцерны и фестулолиума по укосам	56
3.4. Облиственность различных сортов люцерны	60
3.5. Урожайность люцерны изменчивой и люцерны желтой	63

ГЛАВА 4. ФОРМИРОВАНИЕ ТРАВОСТОЕВ ЛЮЦЕРНЫ ИЗМЕНЧИВОЙ И ЭСПАРЦЕТА ПЕСЧАНОГО НА СЛАБООКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ	67
4.1. Ботанический состав и густота травостоев	67
4.2. Высота и облиственность растений	71
4.3. Урожайность фестулолиума, люцерны и эспарцета на слабоокультуренной почве	74
ГЛАВА 5. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ ТРАВ НА ПОЧВАХ РАЗНОГО УРОВНЯ ПЛОДРОДИЯ	79
5.1. Химический состав люцерны на среднеокультуренной почве	79
5.2. Накопление симбиотического азота в урожае люцерны на среднеокультуренной почве.....	86
5.3. Химический состав люцерны и эспарцета на слабоокультуренной почве	87
5.4. Симбиотическая фиксация азота люцерной и эспарцетом на слабоокультуренной почве.....	95
ГЛАВА 6. ФОРМИРОВАНИЕ КОРНЕВОЙ МАССЫ У ЛЮЦЕРНЫ И ЭСПАРЦЕТА НА СЛАБООКУЛЬТУРЕННОЙ ПОЧВЕ	99
ГЛАВА 7. АГРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЛЮЦЕРНЫ НА ПОЧВАХ РАЗНОГО УРОВНЯ ПЛОДРОДИЯ	103
7.1. Агроэнергетическая эффективность возделывания многолетних трав....	103
7.2. Экономическая эффективность возделывания многолетних трав.....	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	112
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	115
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	152

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований обусловлена необходимостью совершенствования системы кормопроизводства в Центральном районе Нечерноземной зоны на основе использования высокопродуктивных агрофитоценозов, созданных из перспективных сортов люцерны изменчивой и люцерны желтой, способных в условиях увеличения засушливости климата формировать агрофитоценозы с высокой урожайностью. Устойчивое производство становится центральным звеном в сельскохозяйственном производстве. Бобовые культуры могут играть важнейшую роль в укреплении кормовой базы животноводства на основе принципов устойчивости. Глобальное потепление сопряжено с рисками по уменьшению устойчивости традиционных кормовых культур. Прогнозируется увеличение засушливости климата, поэтому приоритет необходимо отдавать засухоустойчивым видам трав. К таким многолетним бобовым травам, широко возделываемым в мире, относятся люцерна посевная, люцерна изменчивая, люцерна желтая, эспарцет песчаный и виколистный. Важнейшей бобовой травой является люцерна, занимающая в мире площадь около 32 млн га, причем 70% этой площади приходится на США, Россию и Аргентину (Putnam D.H. et al., 2007). Главное достоинство люцерны – устойчивость к недостатку влаги. Мощный стержневой корень на богатых почвах достигает 3-5 метров, потребляя влагу из глубоких слоев почвы (Huang Z. et al., 2018; Fernandez et al., 2019).

Люцерна характеризуется высокой урожайностью и служит одним из основных мировых источников качественных кормов, хорошо обеспеченных протеином. Она обладает существенными экологическими и социально-экономическими преимуществами, поскольку обеспечивает экономию ископаемой энергии и не требует внесения азотных удобрений, способствует накоплению углерода в почве и сокращению выбросов парниковых газов.

Люцерна, благодаря эффективной симбиотической азотфиксации, обеспечивает экологически безопасный и устойчивый источник азота для органического земледелия.

Изменение климата является серьезным вызовом, стоящим перед нашим миром, что требует разработки срочной глобальной стратегии, включающей меры по смягчению и адаптации к этой серьезной угрозе.

Для адаптации люцерны в условиях Нечерноземной зоны необходимо разработать новые приемы, которые могут гарантировать стабильные урожаи в более суровых условиях, включая слабоокультуренные земли и экстремальные климатические условия. Решение этих задач в наших исследованиях осуществлялось на основе использования сортов люцерны, менее чувствительных к кислым почвам, и применения новых форм удобрений и биологических препаратов, повышающих устойчивость растений к стрессовым условиям.

Степень разработанности темы. В различных почвенно-климатических зонах России и мира выполнено большое количество исследований по оценке различных сортов люцерны по урожайности, питательности, долголетию и устойчивости к недостатку и избытку влаги (Тарковский М.И., Гончаров П.Л., Лубенец П.А., Голобородько С.В., Осипова В.В., Frame J., Undersander D.), обоснованы режимы использования травостоев, система удобрения и технологии заготовки кормов из люцерны (Горковенко Л.Г., Писковацкий Ю.М., Донских Н.А., Владимирова В.В., Степанова Г.В., Шелюто А.А., Иванова Е.П., Orloff S.B., Putnam D.H.). В связи с климатическими рисками необходимо увеличить площади посевов этой засухоустойчивой культуры в нашей стране, в том числе на малоплодородных почвах. Для оценки продуктивности сортов люцерны изменчивой Агния и Таисия, созданных на основе метода сопряженной симбиотической селекции, и перспективного сорта люцерны желтой Нижегородская, необходимы

дальнейшие исследования с использованием регуляторов роста и биопрепаратов для повышения стрессоустойчивости растений.

В то же время, постоянное расширение ассортимента биостимуляторов, изменчивость адаптивности сортов к меняющимся агроклиматическим условиям требуют от науки регулярного производственно-ориентированного совершенствования.

Цель исследования – разработка агротехнологических приемов формирования высокопродуктивных травостоев люцерны изменчивой и люцерны желтой на дерново-подзолистых почвах в условиях Центрального района Нечерноземной зоны Российской Федерации.

Задачи исследований:

- установить влияние росторегулирующих соединений на изменение ботанического состава, высоты, плотности и урожайности травостоя бобовых агрофитоценозов на дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности;
- определить биологическую фиксацию азота в урожае надземной массы люцерны изменчивой, люцерны желтой и эспарцета песчаного;
- дать оценку развития корневой системы и формирования симбиотического аппарата бобовых трав при возделывании на кислых дерново-подзолистых почвах;
- оценить химический состав и питательность зеленых кормов из люцерны и эспарцета;
- провести экономическую и агроэнергетическую оценку возделывания различных видов бобовых трав.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые научно обосновано, что на слабоокультуренной дерново-подзолистой почве сорта люцерны изменчивой Агния и Таисия при применении инокуляции, микробиологического удобрения Ультраспорекс марки Спорин, регулятора роста Альбит и комплексного микроудобрения Аквамикс ТВ на 2-й год жизни

способны формировать устойчивые агрофитоценозы с урожайностью 6,2-7,6 т/га сухой массы, при этом наибольшие прибавки урожая – 20,9-21,3% получены при некорневой подкормке растений Аквамикс ТВ+Спорион. Установлено, что на среднеокультуренной дерново-подзолистой почве возделывание люцерны желтой сорта Нижегородская обеспечивало получение в среднем за три года 6,4-6,8 т/га сухой массы; 1,11-1,23 т/га сырого протеина, не уступая по этим показателям сортам люцерны изменчивой Агния и Таисия.

Теоретическая и практическая значимость исследований состоит в том, что на основе многоплановых исследований для условий Центрального района Нечерноземной зоны установлены закономерности формирования высокопродуктивных агрофитоценозов люцерны на дерново-подзолистых почвах. Возделывание люцерны изменчивой 2 и 3-го года жизни сортов Агния и Таисия на среднеокультуренных слабокислых почвах обеспечивает получение 7,94-8,71 и 8,86-10,28 т/га сухого вещества соответственно. При неравномерном выпадении атмосферных осадков и повышенном тепловом режиме сорта люцерны изменчивой Агния и Таисия и люцерны желтая сорта Нижегородская обладают высокой отавностью и фитоценотической устойчивостью. Получаемые зеленые корма характеризуются высокой энергетической питательностью – 9,74-10,15 МДж/кг, хорошей обеспеченностью сырым протеином – 13,45-20,02%, кальцием – 1,2-1,82% и фосфором – 0,33-0,45% от СВ.

На слабоокультуренной почве с высокой обеспеченностью подвижным фосфором и низким содержанием подвижного молибдена некорневое применение подкормки Аквамикс+Альбит и Аквамикс+Спорион повышало урожайность люцерны 2-го года жизни на 13,7-25,1%.

На 2-3-й годы жизни при выращивании на среднеокультуренной почве в урожае люцерны количество фиксированного азота составляет 157-224 кг/га и на слабоокультуренной – 89-125 кг/га в год.

Методология и методы исследования. Исследования базируются на всестороннем анализе научных публикаций по изучаемой проблеме, постановке цели и задач исследований, проведении полевых и лабораторных опытов по современным методикам, статистической обработке экспериментальных данных и анализе результатов исследований.

Основные положения, выносимые на защиту:

- научно-практические приемы управления продуктивностью агрофитоценозов люцерны на дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности;
- закономерности формирования высокопродуктивных агрофитоценозов и их структурных компонентов в различных экологических условиях;
- обоснование возделывания сортов люцерны изменчивой Агния и Таисия на средне- и слабоокультуренных дерново-подзолистых почвах;
- особенности формирования качества зеленых кормов на почвах разного уровня плодородия;
- обоснование экономической и агроэнергетической эффективности возделывания люцерны при применении регулятора роста и удобрений.

Степень достоверности полученных результатов. Исследования выполнены по общепринятым методикам и ГОСТам, используемым в государственном сортоиспытании сельскохозяйственных культур, растениеводстве и луговодстве. Выводы и рекомендации производству сделаны на основе критериев достоверности, рассчитанных при статистической обработке экспериментальных данных.

Апробация результатов исследований. Основные положения диссертации доложены, обсуждены и одобрены на конференциях: Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова (Москва, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2022 г.); Всероссийской конференции молодых исследователей «Аграрная наука - 2022» (Москва, РГАУ-МСХА

имени К.А. Тимирязева, 2022 г.); Международной научной конференции «Место и роль аграрной науки в обеспечении продовольственной безопасности страны» (Смоленск, Смоленская государственная сельскохозяйственная академия, 2022 г.); Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева (Москва, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2023 г.); III Международной научно-практической конференции «Интеграция образования, науки и практики в АПК: проблемы и перспективы» (Луганск, Луганский государственный аграрный университет им. К.Е. Ворошилова, 2023); Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича (Москва, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024 г.); Всероссийской молодежной научной конференции с международным участием IX Вильямсовские чтения (Москва, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024 г.); Международной научно-практической конференции «АГРОНОМИЯ – 2024» (AgriScience 2024) (Москва, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024 г.).

Личный вклад. Автором лично проведены все полевые и лабораторные исследования, анализ и статистическая обработка экспериментальных данных, подготовка научных публикаций и докладов, написание диссертационной работы.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 работ, в том числе 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ и 2 – в сборнике научных трудов международной базы данных Scopus.

Объём и структура диссертации. Диссертация изложена на 174 страницах, состоит из введения, основной части, содержащей 26 таблиц, 12 рисунков, заключения, библиографического списка (включает 319 наименований, в том числе 178 - на иностранном языке) и 26 приложений.

ГЛАВА 1. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВЫХ АГРОФИТОЦЕНОЗОВ ЛЮЦЕРНЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

1.1. Люцерна в условиях изменения климата

Потепление климата, отмечаемое во всех регионах мира, является актуальной проблемой для человечества, причем оно в наибольшей степени может оказать влияние на сельскохозяйственное производство. Территория России теплеет почти вдвое быстрее, чем в других регионах мира. В целом наблюдаемые тенденции к усилению засушливости, вероятно, приведут к росту уязвимости территорий и климатического риска крупных неурожаев зерновых культур в южных и юго-восточных регионах Европейской территории России (Росгидромет, 2022).

В будущем зимой возможен рост температуры воздуха на 3,5-4,5°C. Увеличение сумм осадков в зимний сезон может составить 10-20%. С начала периода потепления ГТК Селянинова на территории Центрального Федерального округа (ЦФО) за период май-август понизился на 15-25%, и скорость его снижения составляет – 0,07 ед. за 10 лет. С высокой степенью достоверности при усилении глобального потепления испарение с поверхности суши будет продолжать расти, что повлечет уменьшение количества влаги в почве. В последнее тридцатилетие на территории ЦФО наиболее часто наносили ущерб опасные гидрометеорологические явления, связанные с высокими скоростями ветра, высокой степенью пожароопасности, экстремальными температурами. Ожидается, что негативные метеорологические факторы увеличатся по частоте и серьезности в условиях изменения климата (Росгидромет, 2022).

Как излишне высокая температура, так и дефицит тепла негативно сказываются на продуктивности сельскохозяйственных культур (Uprety D.C et al. 2019, Hannah, 2020). Прогнозируется, что к 2050 году концентрации CO₂ в

атмосфере достигнет 550 ppm (Ariz I. et al. 2015). Урожайность люцерны возрастет в результате увеличения концентрации CO₂ (Благовещенский Г.В., 2008; De Luis I et al. 1999; Thivierge M.-N. et al., 2016; Rotz A, 2022), также прогнозируется увеличение общего количества неструктурных углеводов на 25% и снижение содержания азота в люцерне на 8% (Dumont B. et al. 2015). В северных регионах нашей страны возрастание теплообеспеченности положительно скажется на урожайности, увеличение продолжительности вегетационного периода позволит получить ещё один урожай. Дополнительный приток тепла и углекислого газа могут вызвать снижение в люцерне концентрации сырого протеина и увеличение содержания сырой клетчатки (Baslam M. et al., 2012).

Повышение температуры ускоряет процесс созревания сельскохозяйственных культур, сокращает продолжительность функционирования листовой поверхности и, таким образом, общую потребность в воде до созревания урожая (Ojeda-Bustamante W., et al., 2011; Hatfield J.L. et al., 2011).

В засушливых регионах мира прогнозируются негативные сценарии, связанные с повышенными температурами и дефицитом влаги. Так, в Мексике дефицит доступной воды может увеличиться, что приведет к замене в ближайшем будущем люцерны другими, менее требовательными к воде культурами, такими как кукуруза. Также исследования будут направлены на создание новых сортов, которые адаптируются к более высоким температурам или разработку нового состава и структуры кормовых посевов на ирригационных территориях страны (Medina-Garcia G. et al., 2020).

Люцерна является одной из самых засухоустойчивых трав, она может расти в засушливых и полузасушливых условиях в регионах с годовым количеством осадков 200 мм благодаря относительно глубокой корневой системе, усилению антиоксидантной защиты, снижению перекисного окисления липидов при дефиците воды (Lei Y. et al., 2017; Zhang C., et al., 2019).

Однако в то же время люцерна характеризуется высокой потребностью в воде. Она в среднем составляет 1350 мм в год, в то время как для кукурузы этот показатель составляет только 550 мм. На равнинах севера Соединенных Штатов Америки люцерна заменяется в значительной степени другими культурами, такими как кукуруза и соя, которым требуется меньше воды для орошения (Derner J. et al., 2015).

Продуктивность люцерны в странах Африки к югу от Сахары, по прогнозам, снизится на 15-35% из-за изменения климата. Это снижение впоследствии негативно скажется на численности поголовья скота. Воздействие «технологий совмещения кормов и бобовых культур» является одной из адаптаций к изменению климата в Африке и его последствиям для «смешанных систем растениеводства и животноводства» (Hassen A. et al., 2017).

Для некоторых культур повышение температуры может положительно сказаться на экономии поливной воды за счет ускорения процесса их созревания (Hatfield J.L. et al., 2011; Ojeda-Bustamante W. et al., 2011).

Исследования показывают, что в Нечерноземье в засушливые годы преимущество по урожайности имел одновидовой посев люцерны, а во влажные травосмеси (Лазарев и др., 2015).

Высокая потребность люцерны в воде связана в значительной степени с тем, что она дает 3 и более урожаев в год. После скашивания у растений лишенных листового аппарата резко снижается возможность поглощать почвенную влагу, и в то же время увеличивается испарение воды с открытой поверхности почвы.

Модели взаимосвязей изменения климата и урожайности люцерны показывают, что будущий климат создает проблемы, но при правильной адаптации люцерна может остаться и, возможно, стать устойчивой культурой для нынешнего и будущих поколений. Люцерна может давать желаемые урожаи в стрессовых условиях. Она может хорошо расти и на маргинальных землях (Rotz A., 2022). Требуются разработки новых подходов для получения

более высоких урожаев в менее благоприятных условиях, а также с меньших площадей, и расширения производства люцерны на маргинальных землях или в районах с более суровым климатом (Kingston-Smith A.H. et al., 2013).

Для преодоления негативных последствий изменений погодно-климатических факторов необходима эффективная стратегия адаптации аграрного сектора России. Разнообразие природно-климатических условий России обеспечивает значительный потенциал адаптационных мер (Росгидромет, 2022).

1.2. Люцерна в системе лугопастбищного хозяйства

Люцерна в мировом травосеянии занимает наибольшие площади – от 30 млн га (Горковенко Л.Г., 2008; Firdaous L. et al., 2010; Annicchiarico P. et al., 2015; Acharya J.P. et al., 2020; Undersander D., 2021) до более 40 млн. га (Luo Y.-Z. et al., 2019). Около 30% площади, занимаемой бобовыми кормовыми культурами в мире, отведено под люцерну (Peoples M.B. et al., 2019). Она возделывается на всех континентах в 80 странах мира (Radović J. et al., 2009), и первоначально культивировалась в южной и центральной Азии из-за высокой урожайности биомассы, хорошего качества корма и вкусовых качеств для жвачных животных (Lei Y. et al., 2017; Mattioli S. et al. 2019).

В культуре в настоящее время наиболее широко выращиваются три вида люцерны: синяя или посевная (*Medicago sativa* L.), люцерна изменчивая (*Medicago varia* Martyn) и люцерна желтая или серповидная (*Medicago falcata* L.). Люцерна синяя имеет мощный стержневой корень, проникающий в почву на глубину 3-5 метров и более (Putnam D. et al., 2001; Fernandez A.L. et al., 2019б) и для неё лучше подходят южные регионы страны с плодородными и хорошо дренированными почвами.

Люцерна одна из самых универсальных культур в мире. Она используется для получения разнообразных кормов (Hawkins C., Yu L.-X., 2018), в том числе протеиновой пасты, а также биоорганических удобрений (El-Ramady H. et al.,

2020), пищи для человека (например, ростков), в биотехнологическом секторе в качестве источника промышленных ферментов (Gholami A. et al., 2014), сапонинов и флавоноидов (Gholami A. et al. 2014; Rafińska K. et al., 2017; Gill U.S. et al., 2018; Khalid M. et al., 2019), а также для производства биотоплива и биоремедиации (Kumar T. et al., 2018).

Посевы люцерны можно считать глобально полезными для биоразнообразия сельскохозяйственных угодий и управления в сельскохозяйственных ландшафтах (Gonzalez del Portillo D. et al., 2022).

Люцерну можно считать одной из наиболее важных культур для устойчивого сельского хозяйства благодаря благоприятному воздействию на плодородие почвы, высокому коэффициенту фиксации азота и способности сокращать выбросы парниковых газов (Luo J. et al., 2018; Kulkarni K.P. et al., 2018).

1.3. Устойчивость люцерны на почвах разной степени окультуренности

Растения люцерны могут расти в различных климатических зонах (Luo et al. 2019), на самых разных почвах, в том числе на бедных питательными веществами почвах (Orloff S., 2007; Lei Y. et al., 2017). Она имеет высокий диапазон адаптации к экстремальным колебаниям температур от экстремально холодных равнин до высокогорных долин, от умеренных сельскохозяйственных угодий до экстремально жарких пустынь (Bora K.S., Sharma A., 2011; Suwignyo et al., 2023), но оптимальной для неё является температура днем 15-25°C и ночью – 10-20°C (Meliss R.A.M. et al., 2017). Для люцерны не подходят почвы с близким залеганием грунтовых вод (Гончаров П.Л., Лубенец П.А., 1985; Благовещенский Е.В., 2008).

Урожайность люцерны выше на почвах с легкой текстурой, чем на почвах с тяжелой текстурой (Kavut Y.T., Avcioglu R., 2015).

На склоновых землях благодаря мощной корневой системе и густому травостою, люцерна предотвращает эрозию и вымывание нитратов из пахотного

слоя (Putnam D., et al., 2001).

Большая часть потенциально пахотных земель во многих регионах мира является кислой (Van Wambeke A., 1976). В России площадь кислых почв (рН меньше 5,5) в настоящее время составляет около 65 млн. га (Яковлева О.В., 2018). Кислотность почвы представляет собой комплекс многочисленных факторов, включающих дефицит питательных элементов и токсичность, низкую активность полезных микроорганизмов и снижение роста корней растений, которые ограничивают потребление питательных веществ и воды (Munns D.N., 1978; Fageria N.K., Baligar N.K., 2003).

Большинство исследователей сходится во мнении, что люцерну следует высевать на почвах с pH_{KCl} не ниже 5,8-6,0 (Тарковский М.И., 1974; Писковацкий Ю.М. и др., 2002; Шифер К. и др., 2007; Голобородько С.П., Лазарев Н.Н., 2009; Лазарев Н.Н. и др., 2011; Janghorbani M. et al., 1975; Lanyon L.E., Griffith W.K., 1988). В кислых почвах высокий уровень алюминия (Al) в форме растворимого алюминия $3+$ может вызывать серьезные дефекты роста, такие как ингибирование роста корней (Samac D.A., Tesfaye M., 2003).

Перспективным направлением в селекции люцерны является выведение сортов устойчивых к повышенной кислотности. Так, созданный во ВНИИ кормов сорт люцерны изменчивой Селена толерантен к повышенной кислотности и может успешно расти на почвах с pH_{KCl} 4,5-4,8 (Харьков Г.Д., 2007; Шамсутдинов З.Ш. и др., 2007).

Наряду с тем, что большинство исследователей считают люцерну более требовательной к кислотности почвы, имеются сведения о возможности её выращивания и на кислых почвах. Так, изучение на протяжении 28 лет зависимости урожайности донника и люцерны от кислотности почвы на стадии прорастания показало, что донник и люцерна могут хорошо расти и давать большие урожаи даже на сильно кислых почвах (pH_{KCl} 4,0) при условии, что процесс прорастания начинается в нейтральной среде (Haller E., 1983). В другом опыте изучено прорастание буйволовой и бермудской травы, а также люцерны в

чашках Петри, содержащих растворы серной кислоты в диапазоне pH от 7,0 до 1,0. Люцерна и буйволова трава оказались наиболее кислотоустойчивыми видами (Ryan J. et al., 1975). В тропических условиях Бразилии оптимальные показатели кислотности для максимального урожая сухого вещества составляли pH_{KCl} 5,4, насыщенность основаниями 57%, насыщенность Ca 40% и насыщенность Mg 24% (Moreira A., Fageria N. K., 2010). На юго-востоке США также установлено, что люцерну можно выращивать на кислой почве при $pH_{вод}$ 5,7 в слое 0-15 см (Rechcigl E. et al., 1988.) При длительном использовании люцерновых травостоев следует учитывать, что подкисляющее действие бобовых культур может в долгосрочной перспективе вызвать увеличение кислотности, выщелачивание обменных катионов и снижение степени насыщенности основаниями (Haynes R.J., 1983; Liu W.-C. et al., 1989). В полевых исследованиях, выполненных в 6-польных зернокармликовых севооборотах с 28- и 50%-ной долей многолетних бобовых трав, установлено, что среднегодовая за 18 лет скорость подкисления почвы составила 0,039 и 0,067 ед. pH_{KCl} . Это обосновывает необходимость проведения поддерживающего известкования (Конончук В.В. и др., 2020).

На кислых почвах повышается подвижность алюминия, железа и марганца, которые при избыточном количестве могут оказывать токсическое влияние на растения. Токсичность алюминия (Al) является одним из основных факторов, ограничивающих рост и продуктивность сельскохозяйственных культур на кислых почвах, которые занимают примерно 50% от общего объема пахотных земель в мире (Kochian L.V. et al., 2004), причем симбиотические ризобии более чувствительны к Al, чем их бобовый хозяин (Hartel P.G.; Bouton J.H., 1989; O'Hara G.W, Glenn, A.R., 1994; Barone P. et al., 2008; Ferreira P.A.A. et al., 2012).

Внесение извести уменьшает подвижность токсичных алюминия и марганца, улучшает доступность фосфора, кальция и молибдена, способствует формированию клубеньков на корнях бобовых растений, увеличивает

урожайность и содержание сырого протеина и минеральных веществ (Walworth J.L., Sumner M.E., 1990; Brauer D. et al., 2002; Delavechia C. et al., 2003; Grewal H.S., Williams R., 2003; Scott B.J. et al., 2008). Однако внесение извести требует значительных дополнительных затрат и часто является экономически неэффективным (Farina M. P. W. et al., 2000).

Уменьшить токсическое действие Al на люцерну можно также некорневым внесением янтарной кислоты (An Y. et al., 2014). Имеются предположения, что повысить толерантность люцерны к алюминию можно путем выведения сортов люцерны способных к эндогенному синтезу янтарной кислоты в условиях повышенной концентрации подвижного алюминия в почве (An Y., Zhou P., 2013).

Следует отметить, что существенное влияние на подвижность алюминия оказывает содержание гумуса и подвижного фосфора. На почвах хорошо обеспеченных фосфором за счет образования слаборастворимых органоминеральных комплексов вредное действие алюминия на растения значительно уменьшается (Клебанович Н.В., 2002; Кидин В.В., 2012). На сильноокислой дерново-подзолистой почве с очень высокой обеспеченностью подвижным фосфором сорта люцерны Агния и Таисия, созданные методом сопряженной симбиотической селекции, формировали на 2-ой год жизни устойчивые агрофитоценозы с урожайностью 6,07-7,62 т/га сухого вещества (Dikareva S.A. et al., 2024).

1.4. Биологические особенности люцерны, обеспечивающие формирование устойчивых и высокопродуктивных травостоев

Люцерна за счет многоукосности обеспечивает получение в зоне умеренного климата 3-5 укосов (Каджюлис Л.Ю., 1974; Лазарев Н.Н. и др., 2014, 2018; Kallenbach R.L. et al., 2002), в условиях субтропиов – 5-7 и в тропиках до 12 укосов (Putnam et al., 2001; Suwignyo B. et al., 2023). В условиях Сербии люцерна обеспечивала при пяти укосах более высокий урожай, чем при трёх

(Katanski S. et al., 2018). В условиях Финляндии рекомендуется скашивать люцерну через 5-6 недель в фазу бутонизации (Mäkinen K. et al., 2016).

Для отрастания люцерны после дефолиации важным является высота скашивания, поскольку новые побеги у нее появляются не только из почек, расположенных на корневой коронке (базитонные побеги), но и из почек в нижней зоне стеблей (мезотонные побеги) (Колобанов Н.С., 2007).

Урожайность трав зависит от плотности травостоя, количества побегов на одном растении и массы побега (Туркова, Е.В., 2015; Volenec J.J. et al., 1987). Установлено, что в первый год жизни густота растений у люцерны обычно составляет 130-300 растений на 1 м² (Kallenbach R.L. et al., 2002), затем количество растений заметно уменьшается, а в последующие годы происходит значительное снижение густоты растений (Berg W.K. et al., 2007; Coruh I., Tan M., 2008).

Люцерну относят к группе трав со средней продолжительностью жизни, но её долголетие может изменяться в зависимости от условий выращивания. Обычно её используют от 3 до 6 лет, но иногда она может сохраняться в травостоях до 10-25 лет (Лазарев Н.Н. и др., 2018; Лазарев Н.Н., Куренкова Е.М., Дикарева С.А., 2023; Putnam D. et al., 2001; Fernandez A.L. et al., 2019). Обычно она обеспечивает максимальные урожаи на 2-4 годы жизни (Лазарев Н.Н. и др., 2015, 2018; Mantovi P. et al., 2015), а в некоторых исследованиях наибольшая продуктивность была получена на 8-9 годы (Luo Z. et al., 2015).

Урожайность и долголетие люцерны сильно снижается при пастбищном использовании, а также при частых укосах в ранние фазы вегетации (Лубенец, П.А., 1956; Sheaffer C.C. et al., 1986; Laidlaw A.S., Teuber N., 2001).

Исследования по изучению урожайности многолетних бобовых трав в восьми странах северной Европы и Шотландии показали, что люцерна имела наибольший индекс устойчивости, а клевер луговой – наименьший (Halling M.A. et al., 2004; Parsons D. et al., 2006).

В 2024 году в Государственный реестр селекционных достижений

Российской Федерации включены 9 сортов люцерны желтой, 45 – люцерны синей и 85 сортов люцерны изменчивой (Государственный реестр, 2024). Преобладают сорта люцерны изменчивой, которые являются гибридами между люцерной синей и желтой. В ФНЦ «ВИК имени В.Р. Вильямса» выведены так называемые сенокосно-пастбищные сорта люцерны, которые могут давать устойчивые урожаи на относительно небогатых почвах сенокосов и пастбищ. Сорта люцерны изменчивой Пастбищная 88, Находка, Селена, Вега 87 на хорошо окультуренных почвах сохраняли продуктивное долголетие в течение 8-12 лет и на среднеокультуренных – 4-6 лет (Кольцов А.В., Авдеев С.М., 2005; Лазарев Н.Н. и др., 2014; Lazarev N.N. et al., 2019). В долголетних исследованиях на дерново-подзолистых почвах установлено, что в первые шесть лет использования травостоев люцерны сорта Находка превосходила по урожайности козлятник восточный сорта Гале (Лазарев Н.Н. и др., 2018), также, как и на дерново-глеевых почвах в условиях Литвы (Slepetys J., Slepetiene A., 2013).

В последние годы в России и зарубежных странах выведены пастбищные сорта люцерны, которые переносят умеренное пастбищное использование (Писковацкий Ю.М., Ломова М.Г., 2012; Kallenbach R.L. et al., 2002; Pecetti L. et al., 2008). Популяции и сорта, обладающие высокой гетерозиготностью, имеют и более широкий спектр адаптивных реакций на изменения среды (Новосёлов М.Ю., 2007).

В южных регионах люцерну чаще высевается в одновидовых посевах. В условиях Нечерноземья люцерну рекомендуется высевать в составе травосмесей со злаками. Люцерно-злаковые травосмеси в неблагоприятных эдафических и климатических условиях формируют более устойчивые, сбалансированные по сахаро-протеиновому соотношению и лучше поедаемые травостои (Агладзе Г. и др., 2005; Донских Н.А., Владимирова В.В., 2017; Иванова Н.Н. и др., 2019; Hesterman O.B., 1997; Droslov P.N., Sleugh B. et al., 2000; Moore K. et al., 2004; Spandl E., Deak A. et al., 2007).

Важным преимуществом бобово-злаковых травосмесей является то, что они уменьшают потери азота, включая выщелачивание NO_3 на 50% по сравнению с травостоями, удобряемыми высокими дозами азота (Laidlaw A.S., Teuber N., 2001).

По мере старения люцерны в травостоях происходит накопление болезней, которые ослабляют растения и вызывают их изреживание. В то же время люцерна довольно устойчива к поражению вредителями и не требует ежегодных пестицидных обработок как другие культуры. Молодые посевы люцерны благодаря сильному росту успешно противостоят внедрению сорных трав в её травостой (Putnam D. et al., 2001). В исследованиях, выполненных в Швеции, люцерна была более устойчивой к корневым гнилям, чем клевер луговой и клевер ползучий (Wallenhammar A.C. et al., 2018).

1.5. Биологическая фиксация азота люцерной в различных экологических условиях

Биологическая фиксация азота бобовыми растениями по сравнению с внесением азотных удобрений обеспечивает множество функциональных преимуществ для агроэкосистем. Это жизненно важный механизм для пополнения запасов органического азота почвы, для улучшения роста сельскохозяйственных культур, а также содействия усилиям по снижению негативных экологических внешних эффектов (Ladha J.K. et al., 2022).

Устойчивое сельскохозяйственное производство должно основываться на использовании естественных природных связей растений с другими организмами и минимализации антропогенной нагрузки на биоценозы (Gooley F. et al., 1992, Vance C.P., 2001; Тихонович И.А., Проворов Н.А., 2009; Дегунова Н.Б., Данилова Ю.Б., 2013). Большинство видов растений вступает в симбиоз с грибами, а бобовые растения еще и с клубеньковыми растениями. Фиксация и ассимиляция азота сопоставима для растений по своей значимости с фотосинтезом (Newbould P., 1989). Значительную часть питания растения

получают от микобионтов. Кроме того, вторичные метаболиты микроорганизмов (антибиотики, токсины) противостоят антагонистам растений, включая патогенов и фитофагов (Тихонович И.А., Проворов Н.А., 2009).

В Российской Федерации кормовые травы и зернобобовые культуры, возделываемые на пахотных землях, ежегодно фиксируют 574,6 тыс. тонн атмосферного азота, причем 71,9% обеспечивают многолетние травы.

Количество фиксируемого люцерной азота может изменяться в широких пределах – от 52 до 400 кг/га за сезон (Селивёрстов И.В., 2009; Лазарев Н.Н., Пятинский Д.В, 2016; Лазарев Н.Н. и др., 2019; Нелюбина Ж.С., 2019; Дикарева С.А. и др., 2024; Frame J. et al., 1998; McCaughey W.P., Chen, W., 1999). В некоторых исследованиях указывается на возможность люцерны фиксировать 600-650 кг/га азота в год (Racca R. et al., 1998; Peoples M. B., Baldock J.A., 2001; Smith L.C. et al., 2014; Putnam D. et al., 2001; Julier B. et al., 2017). По усредненным данным фиксация N₂ бобовыми травами составляет от 92 (лядвенец рогатый) до 180 кг/га (люцерна) (Peoples M.B. et al., 1995).

Зерновые злаки после многолетних бобовых трав аккумулируют в урожае от 88 до 110 кг/га азота (Wani S.P. et al., 1995). Возделывание многолетних бобовых трав повышает биологическую активность почвы, благодаря росту количества и усилению деятельности клубеньковых и ризосферных микроорганизмов. Этим, в том числе, объясняется ускорение процессов разложения и минерализации растительных остатков в почвах под бобовыми травами (Синицына Н.Е. и др., 2011). Обладая пролонгированным действием, биологический азот стабилизирует его круговорот и повышает экологическую устойчивость агроэкосистем (Мишустин Е.Н., Черепков Н.И., 1979; Трепачев Е.П., 1999), позволяет снизить затраты антропогенной энергии (Hardy R., Havelka U., 1975).

Ризобии (клубеньковые бактерии) составляют небольшую часть почвенных бактерий. Искусственная инокуляция может быть неудачной, если

штаммы не совместимы с данным сортом или легко вытесняются эндемичными штаммами, которые являются высококонкурентными в отношении образования клубеньков, но менее эффективны для фиксации азота. Кроме того, инокулянт может стать нестабильным с течением времени из-за потери генов и частых горизонтальных перенос генов между почвенными бактериями (Brambilla S. et al., 2018). Инокуляция может быть также недостаточно эффективной, если численность местных штаммов превышает 100-1000 шт. клеток на 1 г почвы (Evans J. et al., 1996). После инокуляции в почве увеличивается численность популяции ризобий и эффективность повторной инокуляции не всегда бывает достаточно высокой (Date R.A., 1991). Интенсивность нодуляции зависит от подвижности клубеньковых бактерий и распределения их в почве. Штаммы-инокулянты часто заселяют корень в области корней шейки, но из-за недостаточной подвижности не всегда приживаются на боковых корнях (Mcdermott T.R. et al., 1987).

Отрицательное влияние на выживаемость ризобий оказывает повышенная кислотность почвы, способствующая увеличению токсичного действия подвижного алюминия и марганца, и снижению обеспеченности молибденом и кобальтом (Flis S.E. et al., 1993). Особенно плохо переносят повышенную кислотность ризобии вида *Sinorhizobium meliloti* (Segundo E. F. et al., 1999), которые вступают в симбиоз с люцерной. При снижении pH почвы с 7,0 до 6,0 численность этих бактерий снижалась с $8,4 \times 10^4$ до 37 клеток на 1 г почвы (Brockwell J. et al., 1991). Диапазон эффективного симбиоза колеблется в пределах 6,5-6,8 единиц pH, а при pH 4,9 и ниже численность клубеньковых бактерий резко снижается (Вавилов П.П., Посыпанов Г.С., 1983). В настоящее время выявлены кислотоустойчивые штаммы *S. meliloti*, инокуляция которыми способствует формированию эффективных клубеньков и повышению урожайности люцерны на кислых почвах (Степанова Г.В., 2023; Дикарева С.А., Куренкова Е.М., 2024; Howieson J.G. et al., 1991). На кислых почвах рекомендуется проводить обработку растений флавоноидами или

фитогормонами для обеспечения эффективного симбиоза (Miransari M., Smith D.J., 2007).

Ассоциация между люцерной и *Sinorhizobium meliloti* считается наиболее эффективной ассоциацией для фиксации азота в почве (Oliveira et al., 2004). Путём селекции и совершенствования технологий применения биопрепаратов интенсивность фиксации азота может быть значительно увеличена (Вэнс К., 2002; Тихонович И.А., 2005; Степанова Г.В. и др., 2007; Румянцева М.Л. и др., 2019). Сорт люцерны изменчивой Таисия, созданный с использованием биотехнологии сопряженной симбиотической растительно-микробной селекции для возделывания на неокультуренных и среднеокультуренных, кислых почвах Нечерноземной зоны России, при инокуляция новым штаммом ризобий RCAM 1774 повысил сбор сухого вещества в 4 раза, до 9,2 т/га, семян – в 8,9 раза, до 372 кг/га (Степанова Г.В., 2020). В опыте в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на хорошо окультуренных почвах инокуляция заводскими штаммами клубеньковых бактерий способствовала повышению урожайности клеверо-злаковых и люцерно-злаковых травосмесей на 20% и одновидовых посевов люцерны изменчивой – на 11-32% (Лазарев Н.Н., Стародубцева А.М., 2017, 2018). Сорт Агния, инокулированный комплементарными штаммами, обеспечивал получение 3,0-3,3 т/га сырого протеина (Липовцына Т.П. и др., 2013).

В условиях Якутии при инокуляции семян люцерны серповидной местными штаммами клубеньковых бактерий Якутский 1 и Якутский 2 урожайность сена возросла на 20,7% (Мёрзлая Г.Е., Борисова В.Б., 2022, 2023), а в условиях Приморского края – на 6,8–21,7 % (Иванова Е.П., Клыков А.Г., 2024). В опытах Е.Е. Проворной и И.А. Селиверстова (2007) инокуляция обеспечивала прибавку урожая до 15%.

Клубеньковые бактерии *S. meliloti* проявляют способность к формированию клубеньков и азотфиксации при температуре 10-12°C (Lynch D.H. et al., 1994; Rice W.A. et al., 1995), а при 4°C практически не растут

(Trinick M.J., 1982). При температуре ниже 10°C и выше 30°C усвоение азота атмосферы прекращается (Завалин А.А., Соколов О.А., 2016), оптимальной для симбиоза считается температура 18–26°C (Трепачев Е.П., 1999).

Засушливые условия сказываются негативно как непосредственно на развитии ризобий, так и косвенно посредством влияния на рост растений (Лазарев Н.Н. и др., 2017). В засушливый год в период формирования 1-го укоса масса клубеньков на корнях люцерны снижалась в 3–5 раз, а активность азотфиксации – в 5-8 раз по сравнению с влажным годом, а во 2-ом укосе снижение составило соответственно 1,4-2,3 раза и 2-3 раза (Трепачев Е.П., 1999).

Отрицательное влияние на развитие клубеньков оказывает также внесение азотных удобрений (Кутузова А.А. и др., 1998; Сабитов Г.А., 2006; Окорков В.Н. и др. 2013). По данным Е.П. Трепачева (1999), при содержании в 1 кг пахотного слоя 40-50 мг минерального азота, происходит задержка появления розовых клубеньков у клевера на 10-15 дней после появления всходов.

Люцерна, накапливая большую корневую массу, оказывает благоприятное влияние на плодородие почв, особенно пополняя её азотный баланс. В почве под люцерной и травосмесями с её участием остается от 45 до 300 кг/га азота (Михайличенко Б.П., 1997; Конончук В.В. и др., 2019; Иванова Н.Н. и др., 2022; Putnam D. et al., 2001). Хорошо развитая корневая система люцерны на втором-третьем году жизни дает от 80 до 120 центнеров с 1 га корневой массы в пахотном слое почвы, что эквивалентно внесению 40-60 т навоза (Дроздова В.В., 2013; Ivanov A. I., 2017).

Люцерна обеспечивает эффективную секвестрацию органического углерода в почве. В долголетних исследованиях, выполненных с 1965 по 2001 гг., установлено, что к 2001 году количество углерода в почве увеличилось на 4% на участках, засеянных люцерной в 1998 году, на 8% – в 1987 году и на 17% – в 1965 году (Mortenson M.C. et al., 2004).

В опытах в Австралии установлено, что в среднем концентрации почвенного минерального азота после бобовых, были эквивалентны 14-15 кг дополнительного минерального азота на 1 га на 1 тонну надземной сухой массы за все годы их выращивания (Angus J.F., Peoples M.B., 2012).

Симбиотически фиксированный азот может быть использоваться небобовыми растениями при разложении клубеньков и корней, поступления в почву в виде корневых выделений переносом в другие растения микоризообразующими грибами и при использовании бобовых растений в качестве зеленого удобрения (Peoples M.B. et al., 1995; Dellagi A. et al., 2020).

В злаково-бобовых травосмесях бобовые компоненты передают часть симбиотического азота злаковым травам (Laidlaw A.S. et al., 1996). Количество азота, передаваемого бобовыми компонентами травостоев, обычно не превышает 40 кг/га или менее 30% от общего азота небобового растения (West C.P., Mallarino A.P., 1996). При выращивании люцерны в смеси с овсяницей тростниковой она передавала 59 кг/га N овсянице тростниковой (*Festuca arundinacea* Shreb.), накопленного за 3 года (Louarn G. et al., 2015), а в исследованиях (Heichel G.H., Henjum K.I., 1991) клевер луговой передавал злаковым травам от 13% до 34% фиксированного азота.

Следует отметить, что сложность контроля количественных признаков симбиоза определяется большим числом функционально разнородных бактериальных генов, зависит от генетически полиморфных растений-хозяев и от широкого комплекса неконтролируемых экологических факторов (Проворов Н.А., Тихонович И.А., 2016; Проворов Н.А., Онищук О.П., 2019). При смешанном инфицировании растения с равным успехом инокулируются фиксирующими и не фиксирующими N₂-штаммами ризобий (Westhoek A. et al., 2017).

Важное условие эффективного симбиоза – успешная конкуренция производственных штаммов ризобий с местными штаммами, которые устойчивы к локальным эдафическим стрессам и обычно обладают высокой

вирулентностью в сочетании с низкой N₂-фиксирующей активностью. (Доросинский Л.М., 1989).

Опыт с ризобияльными инокулянтами для бобовых показал, что ряд разнообразных факторов (например, эдафических, биотических, климатических) может ограничивать эффективность инокуляции; плохие методы производства, хранения и/или применения инокулята также могут быть причиной многих неудач инокуляции и непоследовательных результатов (Herrmann L., Lesueur D., 2013; Callaghan M.O., 2016).

1.6. Урожайность и качество кормов из люцерны

Существует 18 питательных веществ, необходимых или полезных для роста люцерны, которые можно классифицировать примерно в соответствии с их концентрацией в растении: 1) Структурные питательные вещества – углерод, водород и кислород, 2) Макроэлементы – азот, фосфор и калий, 3) Вторичные питательные вещества – кальций, магний и сера, 4) Микроэлементы – железо, марганец, бор, цинк, медь, молибден, хлор, никель и кобальт. Структурные питательные вещества (углерод, водород и кислород) обеспечиваются не почвой, как большинство других питательных веществ, а воздухом и водой. Структурные питательные вещества составляют около 91-92% от сухого веса растения люцерны (Ottman M., 2010).

Люцерна хорошо известна как «королева кормов» из-за высокой урожайности биомассы, хорошей обеспеченности протеином, впечатляющему содержанию питательных веществ, включая витамины (В, С, D и Е) и различные минералы, вкусовых качеств для жвачных животных (Лупашку М.Ф., 1980; Харьков Г.Д., 1989; Ходырев И.А., 1991; Косолапов В.М., Трофимов И.А., Трофимова Л.С., 2009; Волошин В.А., 2012; Baker et al., 2019; Mattioli et al., 2019). Среднее содержание сырого протеина в сухом веществе люцерны составляет 17-24% (Писковацкий Ю.М., Ненароков Ю.М., Степанова Г.В., 1997; Кидин В.В., 2012; Дикарева С.А.,

Куренкова Е.М., Белопухов С.Л. и др., 2024), но при уборке в ранние фазы вегетации может достигать 29-32% (Suwignyo B. et al., 2023).

Благодаря высокой отавности, люцерна способна формировать рекордные урожаи. Так, в США урожайность люцерны составила без орошения 22 т/га и с орошением 54 т/га сухого вещества (Importance alfalfa, 2017). В условиях Московской области на окультуренных почвах люцерна сорта Пастбищная 88 обеспечивала получение 14 т/га сухой массы и 2,0-2,5 т/га сырого протеина (Шамсутдинов З.Ш. и др., 2007).

В люцерне содержится мало сахаров, и она имеет большую буферную ёмкость, поэтому считается несилосующейся культурой. При её силосовании в последние годы применяют биологические препараты, обеспечивающие получение силоса хорошего качества (Победнов Ю.А., Косолапов В.М., 2018; Jipeng T. et al., 2013).

1.7. Применение защитно-стимулирующих препаратов для повышения стрессоустойчивости люцерны

Формируя высокие урожаи, люцерна требует внесения повышенных доз фосфорных и калийных удобрений. Как правило, бобовые травы значительно более калиелюбивы, чем злаки. У последних дефицит калия обычно проявляется только при повышенной урожайности, сопутствующей хорошей обеспеченности азотом (Hejstman M. et al., 2012).

Калий является важным питательным веществом для транспортировки соединений азота, образующихся в корнях в результате фиксации N_2 в корневом клубеньке (Marschner H., 1995; Divito G.A., Sadras V.O., 2014). Растения, хорошо обеспеченные калием, являются более устойчивыми к дефициту влаги (Hasanuzzaman M. et al., 2018). Необходимость внесения калия под посевы люцерны обуславливается не только тем, что травы выносят много калия с урожаем. Калийные удобрения оказывают положительное влияние на зимостойкость люцерны (Berg W.K. et al., 2007) и

способствуют повышению урожая (Lissbrant S. et al., 2009).

При внесении удобрений необходимо учитывать, что они изменяют микробное сообщество, которое существенно влияет на уровень минерального питания растений, формирование урожая и почвенное плодородие (Минеев В.Г., Ремпе Е.Х., 1991; Bittman S. et al. 2005; Van Eekeren N. et al. 2009; Schon N. et al., 2012; Rashid M.I., 2013).

Дефицит фосфора затрудняет накопление сахаров в подземных частях растений, что отрицательно сказывается на перезимовке (Кошкин Е.И., 2010).

Оптимизация производства люцерново-злаковых смесей на почвах, бедных основными питательными веществами, требует учета обеспеченности микроэлементами (Zielewicz W., Grzebisz W., Biber M., 2023).

В некоторых исследованиях установлено, что почвенные факторы, включая макро- и микроэлементы, могут оказывать гораздо большее влияние на рост растений люцерны, чем инокуляция симбиотиком (Neumann U. et al., 2011).

Молибден является важнейшим микроэлементом для фиксации азота бобовыми культурами. Низкий pH ограничивает доступность Мо, тем самым уменьшая образование клубеньков и фиксацию азота. Известкование кислых почв, обогащенных илом, до pH около 7 увеличивало растворимость Мо примерно в 10 раз (McBride M.B., Cherney J., 2007). Некорневая подкормка молибденом на фоне двойной дозы полного удобрения увеличивала количество клубеньков по отношению к контролю на 42 % (Осипов М.А., 2009). Увеличение числа клубеньков положительно коррелировало с массой корней и надземной биомассой растений (Adhikari L. & Missaoui A.M., 2017).

В результате проведенных исследований в Якутии выявлено, что внесение молибдена существенно повышает облиственность растений и кормовую продуктивность люцерны серповидной сорта Якутская желтая (на 13 %) (Осипова В.В., Петрова, 2017). В опытах на среднеоккультуренных дерново-подзолистых почвах некорневая подкормка молибдатом аммония способствовала повышению урожайности люцерны изменчивой и люцерны

желтой в среднем на 3,9-8,8% (Dikareva S.A., Kurenkova E.M., Lazarev N.N., 2024). Без обработки семян молибденом наблюдалось снижение сбора сырого протеина на 5,1%, кормовых единиц - на 6,3 и обменной энергии на 5,2% (Шелюто А.А., 2000).

Бор является критически важным питательным веществом с точки зрения потребности в питательных веществах, поскольку он демонстрирует второй по распространенности дефицит микроэлементов в мире после Zn. Значительная реакция на урожайность при внесении бора была обнаружена на хлопчатнике, зерновых, зернобобовых, масличных культурах, люцерне и цитрусовых, выращиваемых на почвах с дефицитом бора (Khurana M. et al., 2022).

Не всегда микроэлементы оказывают влияние на урожайность, но могут воздействовать на качество получаемых кормов. Так, подкормки В и Zn увеличивали концентрацию этих элементов в люцерне, а на содержание Cu в корме подкормка медным купоросом не оказала влияния (Brown J.R., 1972). В других исследованиях люцерны не реагировала на внесение К, S, В и Мо, что было связано с дефицитом влаги в почве из-за малого количества осадков (Razmjoo K., Henderlong P., 1997; Sapkota A., 2018).

В настоящее время производству предлагается большое количество удобрений в виде смесей макро- и микроэлементов, том числе в хелатной форме (Гейгер Е.Ю. и др., 2017). Так, при применении препарата ЖУСС-2 урожайность люцерны возросла на 0,39–0,58 т/га сухого вещества (прирост 6-10%), а известкование не оказало существенного влияния на эффективность опрыскивания посевов жидким стимулирующим составом (Прокина Л.Н. и др., 2009).

Некорневая подкормка концентрированным микроудобрением Аквамикс ТВ на клевере луговом (в фазе начала отрастания) повышала урожайность зеленой массы, по сравнению с контрольным вариантом (без обработки) на 28,8% (Капустин Н.И., Налиухин А.Н., 2006), а совместная обработка семян козлятника Аквамиксом Т и ризоторфином способствовала

увеличению сбора корма на 10-12% по сравнению с их отдельным внесением (Налиухин А.Н., Лактионов Ю.В., 2015).

Наряду с микроудобрениями, в настоящее время при выращивании различных сельскохозяйственных культур широко применяются регуляторы роста химического и микробиологического происхождения (Тихонович И.А. и др., 2011; Волобуева О.Г., 2014; Шаповал О.А., Алиев-Лещенко Р.М., 2014).

Сельское хозяйство, основанное на экологически безопасных агротехнологиях с использованием биопрепаратов и регуляторов роста, должно иметь абсолютный приоритет (Рабинович и др., 2015; Румянцева М.Л. и др., 2019). При этом повышение эффективности кормопроизводства и растениеводства должно основываться не только на применении клубеньковых бактерий, но и других перспективных видов микроорганизмов (Петров В.Б., Чеботарь В.К., 2011; Алферов А.А. и др., 2019; Попов А.А., Федорова Г.П., 2012; Bauer J.T. et al., 2012).

Регуляторы роста микробного происхождения – это чистая культура одного вида бактерий, а в состав биоудобрений входят несколько видов микроорганизмов. Современное интенсивное растениеводство невозможно без использования регуляторов роста и биопрепаратов на основе живых клеток микроорганизмов.

Применение синтетических регуляторов роста позволяет наиболее полно использовать потенциальные возможности роста растений в нужном направлении, а также повысить устойчивость растений к действию стрессовых факторов. Использование биопрепаратов – это также дополнительный источник элементов питания (Тихонович И.А. и др., 2011).

В каталоге разрешенных для применения регуляторов роста на люцерне зарегистрирован Альбит, в состав которого входят поли-бета-гидроксимасляная кислота, которая получена из продуктов жизнедеятельности бактерий *Bacillus megaterium* и *Pseudomonas aureofaciens*, а также магний сернокислый, калий фосфорнокислый, калий азотнокислый и карбамид. Бактерии *Bacillus*

megaterium и *Pseudomonas aureofaciens* обитают в ризосфере растений, стимулируют их рост, повышают устойчивость к болезням и неблагоприятным факторам среды. В отличие от биопрепаратов, содержащих живые клетки бактерий, действие Альбита стабильнее (Волобуева О.Г. и др., 2008; Волобуева О.Г. и др., 2010). Совместное применение Альбита и микролементов увеличило урожайность зеленой массы люцерны желтой на 13,7 % (Аверкин П.М. и др., 2017).

Важную роль в регуляции клубенькообразования играют фитогормоны – ауксины, цитокинины, гиббереллины и фенольные соединения. Роль этих веществ в растениях заключается в обеспечении последовательности процессов морфогенеза и координации функциональной активности целого организма, в том числе и его реакций на внешние воздействия (Волобуева О.Г., 2014). Средняя эффективность препаратов на овощных и бобовых культурах составляет 18-45% (Тихонович И.А. и др., 2005).

1.8. Люцерна желтая и эспарцет – альтернативные бобовые травы в системе кормопроизводства

В связи с потеплением климата существуют значительные возможности для расширения использования люцерны в более северных регионах страны. Однако имеется также потребность в альтернативных многолетних видах для увеличения биоразнообразия и заполнения ниш, где люцерна является менее подходящей культурой (Лазарев Н.Н. и др., 2023; Dear B.S. et al., 2003). Такими альтернативными культурами являются эспарцет песчаный, эспарцет виколистный и люцерна желтая.

Люцерна серповидная во многом схожа с люцерной посевной и люцерной изменчивой, но она имеет более широкий ареал произрастания в диком виде на территории нашей страны, в том числе в Нечерноземье и Сибири (Малышева Н.Ю., Малышев Л.Л., 2020). Люцерна серповидная превосходит другие виды люцерн по морозостойкости (Денисов Г.В., Осипова В.В., 2013;

Писковацкий Ю.М., 2015; Boe A. et al., 2020; Hanson A. et al., 2015; He X. et al., 2015; Cui G. et al., 2019), выдерживая в условиях Якутии морозы до -50°C (Осипова В.В., Лазарев Н.Н., 2010; Мёрзлая Г.Е., Борисова В.Б., 2022). В отличие от других бобовых трав она встречается на пойменных лугах, выдерживая затопление до 20-25 дней (Писковацкий Ю.М., 2015; Шпаков А.С., 2018), характеризуется засухоустойчивостью (Писковацкий Ю.М., 2015; Шпаков А.С., 2018; Hanson A. et al., 2015; Singer S.D. et al., 2021; Saprykin S.V. et al., 2021) и довольно устойчива к засолению (Писковацкий Ю.М., 2015; Шпаков А.С., 2018). Считается, что она менее урожайная, чем люцерна синяя, поэтому меньше возделывается в культуре. В тоже время, изучение нового сорта люцерны желтой сорта Нижегородская в условиях Нечерноземья показало, что она не уступала по урожайности сортам люцерны изменчивой Агния и Таисия, обеспечивая получение на 2-3-ий годы жизни 7,94-9,48 т/га сухого вещества (Dikareva S.A., Kurenkova E.M., Lazarev N.N., 2024).

Эспарцет песчаный является более теплолюбивым растением, чем люцерна и в диком виде произрастает в нашей стране в степной зоне. Он является более раннеспелым растением. Начало фазы цветения у него фиксируется на одну-две недели раньше, чем у люцерны. По этой причине при дефиците влаги в начале лета эспарцет песчаный дает более высокие урожаи. Наблюдения показывают, что в степной части Воронежской области эспарцет в отличие от люцерны не поражался микоплазмозом (Золотарев В.Н. и др., 2019; Сапрыкин С.В. и др., 2020).

Эспарцет, как и люцерна имеет хорошую засухоустойчивость (Грязева Т.В. и др., 2009; Шпаар Д. и др., 2009; Ozbilgin A. и Coskun B., 2018), но в отличие от люцерны у него значительно больше мелких боковых корней (Barnes R.F. et al., 1995).

Эспарцет сохраняется в травостоях до 5-8 лет (Шабанова Г.А. и др., 2012; Слободяник Т.М. и др., 2014; Ozbilgin A., Coskun B., 2018). Он является хорошим предшественником для других культур в севооборотах, накапливая в

почве 6-10 т/га сухой массы корней (Завалин А.А. и др., 2019) и 100-150 кг/га биологического азота (Завалин А.А. и др., 2019; Волошин В.А. и др., 2021).

В лесостепной и степной зонах эспарцет по устойчивости и урожайности сена превосходит люцерну на песчаных, щебнистых и смытых склоновых участках с близким залеганием от поверхности известняков (Сафин Х.М., Зотов А.А., 2009; Панков Д.М., 2012). В засушливых условиях эспарцет является хорошей альтернативой люцерне (Sölter U. et al., 2007; Smith L., 2011), и может превосходить её по урожайности (Золотарев В.Н. и др., 2019). Как и люцерна эспарцет не переносит переувлажнения и кислых почв (Шпаар Д. и др., 2009; Нагибин А.Е. и др., 2018; Лазарев Н.Н., Михалёв С.С., 2020).

Меньшая требовательность эспарцета к обеспеченности почвы элементами питания обусловлена тем, что он за счёт корневых выделений способен усваивать из глубоких горизонтов почвы труднодоступные для других культур соединения фосфора и кальция и обогащать ими верхний горизонт почвы (Новоселова А.С., 2015; Шпаков А.С., 2018; Волошин В.А. и др., 2021). Симбиоз эспарцета с микоризообразующими грибами помогает ему на бедных почвах удовлетворять свою потребность в фосфоре (Kong J. et al., 2014). Бобовые растения способные потреблять фосфор из форм, которые обычно недоступны, нуждаются в дальнейшем изучении, поскольку фосфор представляет собой дорогостоящий и ограниченный ресурс в некоторых системах земледелия (Stagnari F. et al., 2017).

Оптимальная температура для формирования кормовой массы эспарцета составляет 18-20°C. При возвратных заморозках листья эспарцета могут выдерживать температуру до -12°C (Шпаар Д. и др., 2009).

Эспарцет является менее отавной (Кашеваров Н.И. и др., 2013) и менее урожайной культурой, чем люцерна (Василенко Р.Н., Яворский С.В., 2015), обеспечивая получение от 4 до 7 т/га сухого вещества, в котором содержится от 12 до 17% сырого протеина. При внесении извести в дозах, рассчитанных по гидролитической кислотности от 0 до 2,0 (с интервалом 0,5 Нг), урожайность

возрастала с 4,83 до 5,92 т/га сухого вещества (Волошин В.А. и др., 2021).

В условиях южной степи Украины урожайность эспарцета песчаного 1-2-го годов пользования составляла 5,22-6,76 т/га сухого вещества. При инокуляции семян ризобифитом сбор корма возрастал на 0,25-0,92 т/га (Голобородько С.П., Гальченко Н.Н., 2012). На 48-ой день после скашивания эспарцет уступал люцерне по накоплению сухой массы, индексу листовой поверхности, скорости роста в высоту (Sheehy J.E., Popple C.S., 1981). Обычно эспарцет дает примерно на 5-20% меньше сухого вещества, чем люцерна (Bolger T., Matches A., 1990; Kielly G.A. et al., 1994).

Эспарцет не уступает люцерне по питательности и химическому составу (Кашеваров Н.И. и др., 2013). При уборке в ранние фазы вегетации получаемые корма характеризуются высокой питательностью. В то же время, по данным О.В. Рябининой (2002) содержание в сухом веществе сырых питательных веществ (зола, протеина, жира, клетчатки) в период цветения и в начале плодообразования существенно не различалось. Данные показатели составляли в фазе цветения 8,8; 18,4; 3,1; 27,8%, в фазе начала плодообразования – 9,0; 14,6; 3,6; 30,1% соответственно. Сдвинув сроки скашивания эспарцета на конец фазы цветения, можно получать корм достаточно хорошего качества. По данным В.А. Волошина (2015) в первом укосе в эспарцете содержалось 9,1-10,1 МДж обменной энергии и во втором – 10,2-11,2 МДж в 1 кг СВ. При оптимальных режимах использования получаемый корм характеризовался высокой концентрацией сырого протеина (18,56-19,79% от СВ) и кальция (1,59-1,99%), а содержание ADF и NDF варьировалось в пределах 28,30-32,18% и 37,35-42,48% от СВ соответственно. Содержание N, P, K, Mg снижалось по мере роста, тогда как сбор сухого вещества, содержание Ca, ADF и NDF увеличивалось (Mohajer S. et al., 2013).

В эспарцете содержится от 30 до 80 г на 1 кг сухого вещества конденсированных танинов (КТ), которые представляют собой вторичные растительные полифенольные соединения (MacAdam J.W., Villalbam J.J., 2015).

КТ снижают риск вздутия рубца жвачных животных, увеличивают количество нерасщепляемого протеина в рубце. L.R. McMahon с соавторами (1999) установили, что замена люцерны на повышенный уровень эспарцета в рационе крупного рогатого скота (10% против 20%) снижает деградацию рубцового белка и приводит к снижению заболеваемости тимпанией на 26 и 82% соответственно.

КТ также способствуют сокращению выбросов метана в атмосферу и азота с мочой. В тонком кишечнике при более высоком pH нерасщепленный (обходной) протеин успешно переваривается. При увеличении доли нерасщепляемого белка в рубце снижется образование аммиака, который выводится в виде мочевины с мочой. При переваривании протеина в тонком кишечнике большая часть азота выводится с фекалиями в виде неаммиачного азота (Min B.R., Solaiman S., 2018; Mueller-Harvey I. et al., 2019; Kelln B.M. et al., 2020). Снижение выделения азота с мочой из-за уменьшения протеолиза в рубце и повышение содержания азота в фекалиях может иметь благоприятное воздействие на окружающую среду. При внесении фекалий в виде навоза в почву для удобрения сельскохозяйственных культур уменьшаются потери азота от выщелачивания и улетучивания в атмосферу по сравнению с подвижным и летучим азотом, содержащемся в моче (Mueller-Harvey I. et al., 2019).

Установлено, что КТ могут улучшить полезные свойства молока, хотя КТ эспарцета были менее полезными, чем экстракты КТ из других растений в увеличении концентрации полиненасыщенных жирных кислот молока (Khiaosa-Ard R. et al., 2009).

Эспарцет является наиболее перспективным среди испытанных видов дубильных кормовых растений благодаря своей пригодности для возделывания, высокому содержанию танина, высоким вкусовым качествам и антипаразитарной активности даже в высушенном или силосованном виде (Haring D.A. et al., 2008).

Конденсированные танины с более высоким процентным содержанием

продельфинидинов, содержащихся в эспарцете, показали антигельминтное действие *in vivo* у овец и коз (Mueller-Harvey I. et al., 2019), при этом количество фекальных яиц гельминтов снижалось при использовании как силоса, так и сена из эспарцета (Haring D.A. et al., 2008, Paolini V. et al., 2005).

Заключение по главе 1

В условиях глобального потепления климата важнейшей задачей для устойчивого развития кормопроизводства является более широкое использование в травосеянии засухоустойчивых многолетних трав таких люцерна синяя, люцерна изменчивая, люцерна желтая, эспарцет песчаный. В Нечерноземной зоне для дерново-подзолистых почв приоритет должен отдаваться люцерне изменчивой и люцерне желтой, которые характеризуются высокой урожайностью, засухоустойчивостью и долголетием. По этим биологическим, экологическим и хозяйственным свойствам люцерна превосходит клевер луговой, в настоящее время занимающий наибольшие площади в Центральном и Северном Нечерноземье. Считается, что потепление климата происходит на территории России более быстрыми темпами, чем в других регионах мира. Оно сопровождается не только увеличением температуры и повышением концентрации углекислого газа, но и неравномерным выпадением атмосферных осадков в течение вегетационного периода. Благодаря глубокой корневой системе и высокой отавности, люцерна может успешно противостоять временному дефициту влаги. Все виды люцерн имеют высокую морозостойкость, а люцерна желтая может переносить экстремально низкие температуры до -50°C . В условиях прогнозируемого уменьшения мощности снежного покрова и даже его полного отсутствия в зимний период люцерна является перспективной культурой для северных регионов страны.

Одним из факторов, ограничивающих получение высоких урожаев на дерново-подзолистых почвах является их повышенная кислотность. Обобщение литературных источников показывает, что метод сопряженной симбиотической селекции позволяют создать сорта люцерны с повышенной устойчивостью к кислой реакции. Повысить стрессоустойчивость растений можно также за счет использования регуляторов роста, микробиологических удобрений и микроудобрений, обладающих защитно-стимулирующими действиями.

Анализ литературных источников показывает, что изменение климата носит реальный характер, и имеется настоятельная необходимость более широкого использования в травосеянии Нечерноземья засухоустойчивых видов трав. Для повышения устойчивости растений к засушливым условиям, повышенной кислотности почвы возможно использование новых сортов люцерны, регуляторов роста и биопрепаратов. Научных экспериментов в этом направлении выполнено недостаточно, что и стало основанием для проведения нашего диссертационного исследования.

ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Место и почвенно-климатические условия проведения опытов

Московская агломерация расположена в поясе умеренно континентального климата. Климат Москвы и области характеризуется как умеренно-континентальный с относительно мягкой зимой с редкими оттепелями и теплым сравнительно влажным летом.

В течение года преобладают западные и юго-западные ветры, которые несут массы атлантического воздуха. Годовой приход суммарной солнечной радиации составляет примерно 87 ккал/см², из этого количества 41 ккал/см² в виде рассеянной солнечной радиации.

В последние годы в центральных и южных районах России сохраняется положительная тенденция в изменении прямой радиации. На фоне резкого снижения рассеянной радиации в начале 1990-х гг. суммарная радиация проявляет слабую, но значимую тенденцию к повышению (Росгидромет, 2022).

Потепление климата четко прослеживается даже за последний тридцатилетний период. По данным наблюдений 1991-2020 годов самым холодным месяцем года в Москве является январь (средняя температура -6,2°C), почти такой же холодный месяц февраль (-5,9°C). Среднегодовая температура +6,3°C (в последние годы она иногда превышала +7°C и в 2020 даже достигла +8°C), а за период с 1960 по 1969 гг. она составляла только +4,6°C. Самый тёплый месяц – июль (средняя температура +19,7°C). В летние месяцы наибольшее повышение температуры за последние двадцать лет отмечалось в июле и августе, весной – в мае и осенью – в сентябре. За период с 2001 по 2020 гг. август характеризовался большим приходом тепла, чем июнь.

Период с положительными температурами длится в среднем 206-216 дней. Безморозный период продолжается 120-140 дней. Средняя сумма активных температур 2400°C. Средняя продолжительность периода вегетации многолетних трав с температурой выше +5°C составляет 170-190 дней.

В последние годы в целом в ЦФО теплообеспеченность сельскохозяйственных культур увеличивается. Температура периода вегетации ($T > 5^{\circ}\text{C}$) за последние десятилетие повысилась на $0,6-1,2^{\circ}\text{C}$ при максимуме роста в летние месяцы ($1,3-2,2^{\circ}\text{C}$) относительно базового периода. Сумма температур за период активной вегетации (период с температурой выше 10°C) увеличилась на $\sim 300^{\circ}\text{C}$. Продолжительность периода с температурой выше 5 и 10°C выросла примерно на 7-10 сут., а даты перехода через 5 и 10°C весной наблюдаются ранее климатической нормы на четыре – восемь суток (Росгидромет, 2022).

За год в Москве и прилегающей к ней территории выпадает 600-700 мм атмосферных осадков, причём больше всего – в летние месяцы, а меньше всего – в феврале, марте и апреле. Самым сухим за всё время измерений был 1920 год, когда выпало 338 мм осадков. Количество осадков за последний тридцатилетний период было подвержено значительным колебаниям по годам. Минимальное годовое количество атмосферных осадков составило в 2014 г. – 488 мм и максимальное – 901 мм – в 2020 году. Среднегодовое количество осадков за тридцатилетний период составило 713 мм, а за последние десятилетие достигло 736 мм. В десяти годах из тридцати количество осадков превысило 800 мм. За последнее десятилетие более увлажненными стали май и июль, а более сухим – август.

В условиях изменения климата рост содержания водяного пара в атмосфере при повышении температуры потенциально способствует росту осадков, в особенности – экстремальных осадков. К числу благоприятных факторов относится тенденция к росту весенних осадков, наблюдаемая практически на всей территории земледельческой зоны России (Росгидромет, 2022). Две трети осадков в настоящее время выпадает в виде дождя, одна треть – в виде снега.

Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом – 135-140 дней (начало 24.XI–1.XII и конец 3–8.IV). К концу зимы высота снежного покрова достигает в среднем 30-45 см. Все прогностические модели по

изменению климата устойчиво демонстрируют уменьшение снежного покрова в Северном полушарии при росте глобальной температуры приземного воздуха в XXI веке (Росгидромет, 2022), что может сказаться на перезимовке трав.

Значительный рост термических ресурсов, происходящий в настоящее время, имеет для отрасли скотоводства как положительные, так и отрицательные последствия. Увеличение продолжительности периода выпаса скота на летних пастбищах и сокращение периода стойлового содержания животных, рост продуктивности сенокосов и пастбищ в умеренной зоне, а также возможность уменьшения потребного запаса кормов на зимний сезон, являются положительным фактором. В тоже время высокие значения температуры летом и наблюдающаяся аридизация вегетационного периода, вероятно, приведут к росту тенденции выгорания травостоя на пастбищах и сенокосах, особенно в южных районах, что негативно отразится на кормовой базе и пастбищных ресурсах. В этих условиях эффективные адаптационные меры могут включать корректировку объемов заготовки кормов на зиму, расширение сеяных выпасов для использования их в форме зеленого корма в период выгорания пастбищ и смещение сроков начала и окончания пастбищного выпаса скота (Росгидромет, 2022).

Землепользование Полевой опытной станции (г. Москва), на территории которой проводились полевые исследования, находится на самой окраине Клинско-Дмитровской гряды. По рельефу территория станции представляет моренную холмистую равнину на водоразделе рек Москвы и Яузы и возвышается над уровнем реки Москвы на 60 м.

2.2. Схемы опытов и методика исследований

Исследования проводили в 2022-2024 гг. на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва) в двух полевых опытах.

Опыт 1. Особенности формирования агрофитоценозов люцерны изменчивой и люцерны желтой на среднеокультуренной дерново-подзолистой

почве. Объекты исследования: фестулолиум сорт Фест, люцерна изменчивая сорт Агния, люцерна изменчивая сорт Таисия, люцерна желтая сорт Нижегородская. Одновидовые травостой люцерны изучали при некорневом внесении регулятора роста Альбит ТПС, микробиологического удобрения Ультраспор марки Спорин и микроудобрения молибдат аммония (52% Мо).

Опыт 2. Особенности формирования агрофитоценозов люцерны изменчивой и эспарцета песчаного на слабоокультуренной дерново-подзолистой почве. Объекты исследования: фестулолиум сорт Фест, люцерна изменчивая сорт Агния, люцерна изменчивая сорт Таисия, эспарцет песчаный сорт Павловский. Для обработки растений по вегетации применяли регулятор роста Альбит ТПС, концентрированное микроудобрение Аквамикс ТВ, удобрение Ультраспор марки Спорин. Альбит и Спорин применяли как отдельно, так и в двухкомпонентных смесях с Аквамиксом.

Контролем в обоих опытах служил вариант без внесения препаратов. Фестулолиум был включен в схему опыта с целью определения количества фиксированного азота.

Препаративной формой Альбита является текучая паста (ТПС), в состав которой входит: поли-бета-гидроксимасляная кислота (6,2 г/кг) + магний сернокислый (29,8) + калий фосфорнокислый (91,1) + калий азотнокислый (91,2) + карбамид (181,5 г/кг). Микробиологическое удобрение Спорин включает споры бактерий *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus aryabhattai*, *Bacillus mucilaginosus*, *Panibacillus peoriae*, биологически активные продукты их жизнедеятельности и микроэлементы. Микроудобрение Аквамикс содержит: В – 7,65%, Cu (EDTA) – 2,25%, Zn (EDTA) – 2,25%, Мо – 7,8%, Со – 1,3 %.

Обработку бобовых трав проводили при достижении растениями высоты 8-10 см: в первый год жизни однократно после посева; в последующие годы жизни – весной и после первого и второго укосов. Норма расхода Альбита составляла при внесении весной 40 мл/га, после 1 и 2-ого укоса – 70 мл/га.

Спорион применяли в норме 1 л/га, молибдат аммония – 100 г/га и Аквамикс – 150 г/га. Норма расхода рабочего раствора составляла 200-300 л/га.

В опыте 2 перед посевом семена эспарцета инокулировали штаммом *Rhizobium* Sp. (*Onobrychis*) – 820. Для инокуляции люцерны сорта Агния использовали штамм *Sinorhizobium meliloti* АК 55 и для сорта Таисия – СХМ 404Б. Штаммы, созданные Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии», включены в Сетевую биоресурсную коллекцию в области генетических технологий для сельского хозяйства (ВКСМ).

В опыте 1 инокуляцию и макроудобрения не применяли, а в опыте 2 ежегодно весной вносили гранулированный хлористый калий в дозе K_{120} .

Основная обработка почвы в обоих опытах включала зяблевую вспашку на глубину 20-22 см, в весенний период – двукратное фрезерование на 10-12 см. После разбросного беспокровного посева проведено боронование и прикатывание почвы. Посев осуществляли в оптимальные для данной зоны сроки. Норма высева фестулолиума составила 18 кг/га, люцерны 16 кг и эспарцета 80 кг всхожих семян на 1 га. В год посева на обоих опытах провели один укос, а в последующие – три. Высота скашивания составляла 7 см.

Площадь опытной делянки в опыте 1 – 15 м², в опыте 2 – 13,2 м², повторность соответственно трехкратная и четырехкратная, размещение вариантов рандомизированное.

Почва опытных участков дерново-подзолистая среднесуглинистая. В пахотном слое почвы опытов 1 и 2 содержится соответственно 2,4 и 2,1% гумуса, 304 и 426 мг/кг подвижного фосфора, 101 и 36 мг/кг подвижного калия, 3,69 и 1,69 мг/кг подвижной серы, 0,12 и 0,12 мг/кг Мо, 0,83 и 0,49 мг/кг Со, 0,4 и 0,25 мг/кг В, рН_{KCl} 5,4 и 4,52, степень насыщенности основаниями 75,0 и 44,6%. Грунтовые воды на глубине 3 м не обнаружены.

Учеты, наблюдения и химические анализы проводили по следующим

методикам:

Фенологические наблюдения. У люцерны и эспарцета отмечали фазы полной бутонизации, у фестулолиума – колошения (в первом укосе). Начало наступления фазы отмечалось при наличии 10% растений, вступающие в нее, полное – при наличии 75% растений в данной фазе.

Плотность травостоев и густоту растений – перед каждым укосом путем подсчета числа побегов растений люцерны и фестулолиума на каждой деланке на всех повторностях на площадках 50×50 см.

Сохранность растений. Для установления количества погибших растений проводили подсчет густоты стояния растений на стационарных площадках 50×50 см перед уходом растений в зиму и весной через 15 дней после начала вегетации.

Высоту многолетних трав измеряли перед каждым укосом путем измерения 20 растений люцерны, эспарцета и фестулолиума, проходя по диагонали каждой деланки двух несмежных повторностей.

Ботанический состав травостоев определяли перед каждым укосом путем отбора образцов массой 1 кг с двух несмежных повторностей. Отбор пробных снопов производили в нескольких местах деланки при прохождении ее по диагонали. Далее снопы разбирали на фракции, выделяя: 1) основные компоненты травостоев – люцерна изменчивая, люцерна желтая, эспарцет песчаный и фестулолиум; 2) несеяные злаки; 3) разнотравье. Полученные фракции взвешивали и вычисляли их процентное соотношение

Урожайность зеленой массы – по укосам по каждому варианту со всех повторностей опыта. Скашивание и взвешивание зеленой массы производили с учетной площади деланки (Методические указания по проведению научных исследований на сенокосах и пастбищах, 1996; Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами, 1997; Методика агротехнических исследований в опытах с основными полевыми культурами, Лукомец В.М. и др., 2022).

Содержание сухого вещества. Производили отбор образцов травостоев с двух несмежных повторностей и помещали в герметические полиэтиленовые пакеты. Далее пробы измельчали и в специальных бьюксах высушивали в сушильном шкафу при температуре 105°C до постоянной массы (ГОСТ 31640-2012).

Химический состав корма. Образцы на химический анализ надземной массы отбирали перед каждым укосом при прохождении по диагонали делянки в нескольких местах с двух несмежных повторностей, затем их измельчали и отбирали средние образцы общей массой около 1 кг. Далее проводили высушивание образцов в сушильном шкафу при температуре 60-70°C.

Содержание сырого протеина, сырой клетчатки, сырого жира, сырой золы, кальция и фосфора определяли на инфракрасном анализаторе SpectraStar 2600 XT.

Процентное содержание безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) вычисляли, вычитая из 100 количество сырого протеина, сырого жира, сырой клетчатки и сырой золы (Плешков Б.П., 1976).

Содержание обменной энергии в травах определяли по уравнениям регрессии с учетом химического состава, переваримости кормов и энергетических коэффициентов.

Агрохимические показатели пахотного горизонта почвы – по следующим методикам: гумус – по Тюрину (ГОСТ 26213); pH_{KCl} (ГОСТ 26483–85); сумма поглощенных оснований – по Каппену-Гильковицу (ГОСТ 27821-88); подвижные P_2O_5 и K_2O – по Кирсанову (ГОСТ Р 54650-2011); подвижные соединения молибдена по методу Григга, бора – по методу Бергера и Труога (ГОСТ Р 50689-94).

Массу подземных органов в пахотном горизонте определяли путем отбора монолитов почвы 0,2×0,2 м на глубину 0,3 м по три с каждой делянки в двух несмежных повторностях. Монолит предварительно замачивали и отмывали на сите с диаметром отверстий 0,25 мм. После отмывки от корней

отделялся сор, они высушивались до постоянной массы при температуре 60-70°C и взвешивались (Станков Н.З., 1964; Устименко А.С., Данильчук П.В., Гвоздиковская А.Т., 1975).

Симбиотическую фиксацию азота в надземной массе бобовых трав определяли методом сравнения с небобовой культурой (фестулолиумом) (Посыпанов, 1991).

Агроэнергетическую эффективность выращивания многолетних трав рассчитывали по методике ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса (Методическое руководство по оценке потоков энергии в луговых агроэкосистемах, 2000).

Статистическая обработка данных, полученных в результате проведения исследований, произведена методом дисперсионного анализа (Доспехов Б.А., 1985).

2.3. Характеристика метеорологических условий в годы проведения исследований

В зоне умеренного климата возделываются луговые травы, которые относятся к мезофитам, то есть к растениям, приуроченным к достаточным по увлажнению местообитаниям. Для получения высоких урожаев первостепенное значение имеет обеспеченность влагой.

Потребность в воде возрастает при многоукосном использовании травостоев, поскольку после скашивания у трав лишенных надземной массы резко снижается возможность поглощать влагу из почвы. Одновременно возрастает испарение влаги с открытой поверхности почвы.

Что касается теплового режима, то травы, возделываемые на кормовые цели, характеризуются умеренной потребностью в тепле. Для обеспечения хорошего роста вегетативной массы достаточной является температура +18-22°C.

Метеорологические параметры, свидетельствующие об изменении климата, были четко выражены в годы проведения исследований. Весеннее

возобновление вегетации при переходе среднесуточной температуры через $+5^{\circ}\text{C}$ у трав отмечалось раньше среднемноголетних значений. В 2022 году эта дата зафиксирована 8 апреля, в 2023 году – 2 апреля и в 2024 году – 7 апреля, а продолжительность периодов с температурой более 5°C составляла соответственно 191, 197 и 196 дней.

По данным метеорологической обсерватория имени В.А. Михельсона (г. Москва) вегетационный период 2022 года характеризовался высоким тепловым режимом по сравнению со средними многолетними данными. Особенно жарким выдался август, когда среднемесячная температура превысила среднемноголетние значения на $+4,2^{\circ}\text{C}$, и он оказался даже теплее июля. В этом месяце условия для роста трав были крайне неблагоприятными, поскольку на фоне высокого теплового режима выпало только 3,1 мм осадков, что составляет только 4,0% от нормы (рисунок 1).

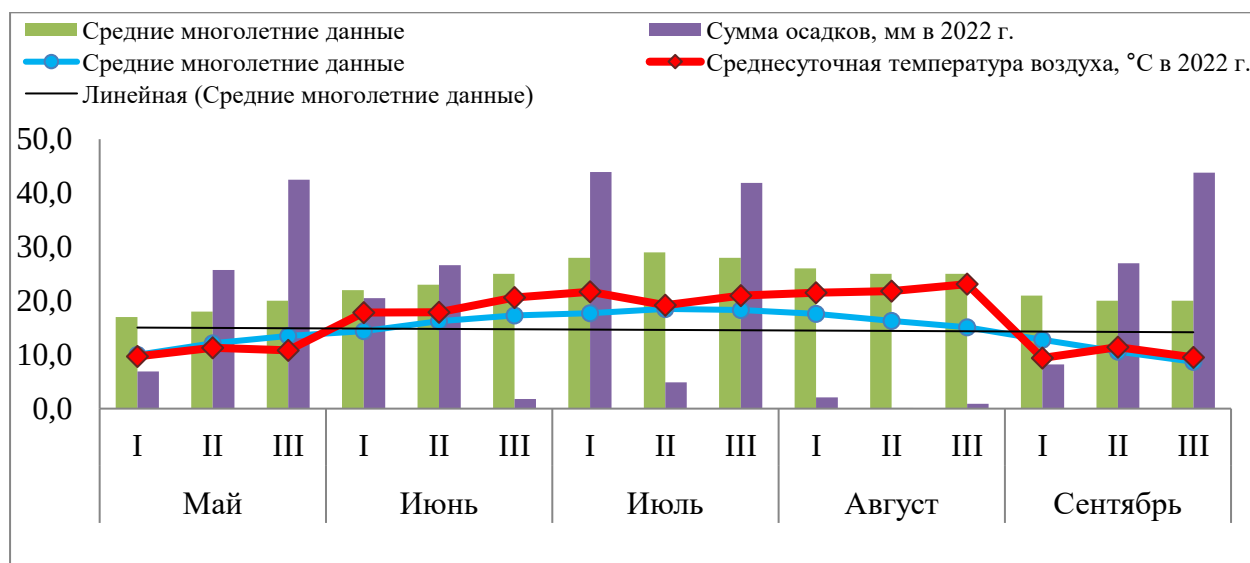


Рисунок 1 – Количество осадков и среднесуточная температура с апреля по сентябрь 2022 г.

В 2023 году период с мая по июль уступал среднемноголетним значениям по температуре воздуха, а август, как и 2022 году оказался теплее других летних месяцев. Также высокий тепловой режим сохранился в сентябре при среднесуточной температуре $+15,3^{\circ}\text{C}$. Неблагоприятные условия увлажнения для трав сложились в период формирования третьего укоса в августе, когда

количество осадков составило 51,6% от нормы (рисунок 2).

Люцерна достаточно требовательна к влаге и вместе с тем весьма устойчива к засухе. Наивысшие урожаи формирует на почвах с влажностью 60-80% от полной полевой влагоемкости. При большом количестве осадков (свыше 1000 мм в год) поражается мучнистой росой и другими болезнями, что делает ее недолговечной. При 10-15-дневном затоплении травостоя резко уменьшается урожай. Снижение влажности почвы до 45% наименьшей влагоемкости вызывает значительное выпадение растений.

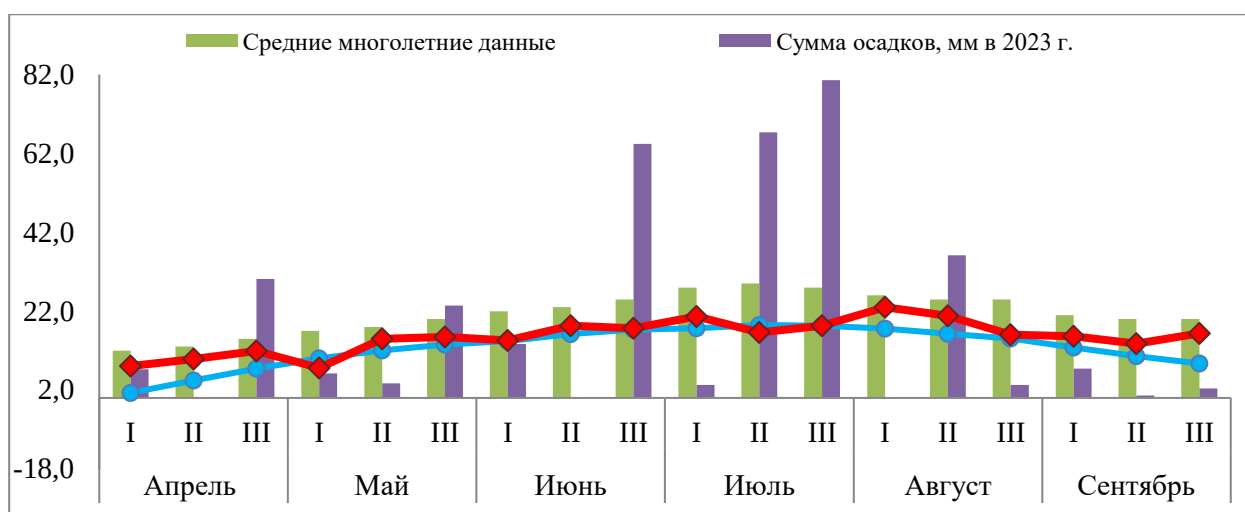


Рисунок 2 – Количество осадков и среднесуточная температура с апреля по сентябрь 2023 г.

Сумма активных температур ($T > 10^{\circ}\text{C}$) составила по годам исследований (2022, 2023 и 2024 гг.) соответственно 2360; 2536 и 2812 $^{\circ}\text{C}$, а гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова – 1,43; 1,26 и 1,25 (таблица 1). В целом по ГТК вегетационные периоды исследований являются достаточно увлажненными.

По данным Д.А. Иванова (2018) урожайность сена бывает относительно высокой в зонах, где гидротермический коэффициент не превышает 1,3, поскольку при увеличении ГТК растения испытывают недостаток тепла. Но следует учитывать, что со второго года жизни травы в полевых опытах использовали в режиме трехкратного скашивания, поэтому очень важным показателем, характеризующим условия увлажнения, является ГТК по

периодам формирования каждого из трех укосов. Данные показывают, что крайне засушливые условия для формирования третьего укоса складывались во все годы исследований. ГТК в августе 2022 года составил всего 0,05, в 2023 г. – 0,65 и 2024 г. – 0,58. Что касается низких показателей ГТК в мае 2023 и 2024 гг. (соответственно 0,81 и 0,39), то формирование первого укоса вполне обеспечивалось за счет весенних влагозапасов почвы. Хорошему росту трав также благоприятствовал повышенный тепловой режим. При раннем возобновлении вегетации температура в апреле 2023 г. превысила норму на 2,8°C и в 2004 г. – на 3,8°C.

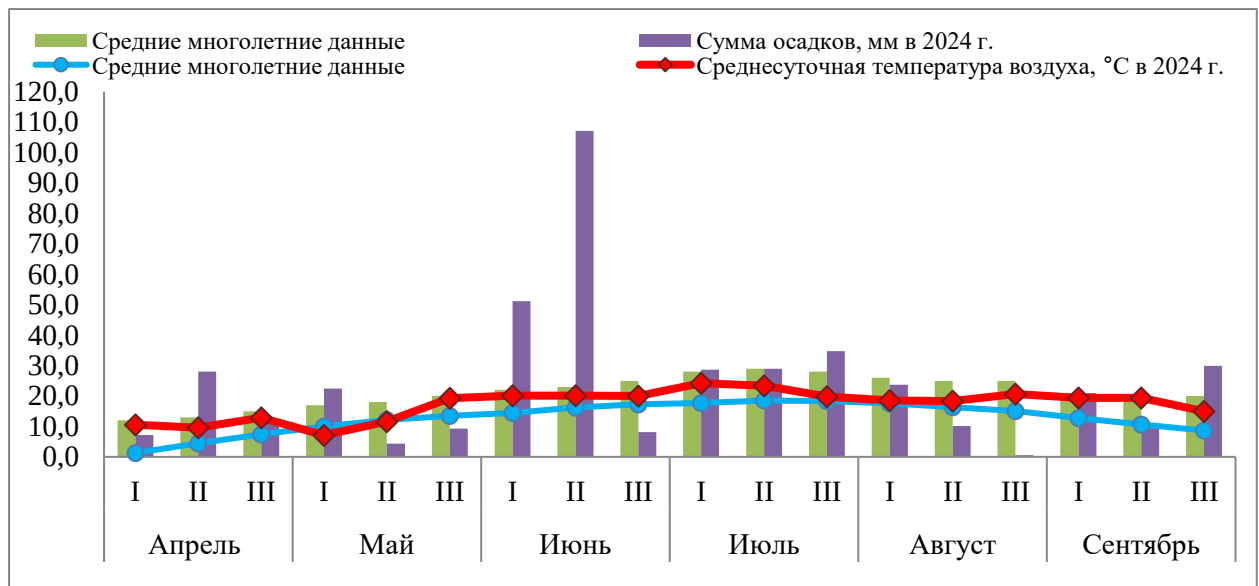


Рисунок 3 – Количество осадков и среднесуточная температура с апреля по сентябрь 2024 г.

Всходы многолетних трав более чувствительны к недостатку влаги, чем многие однолетние полевые культуры. Верхний слой почвы при заделке мелких семян трав на глубину 1-2 см быстро пересыхает, поэтому всходы трав в засушливых условиях могут полностью погибнуть. Такие неблагоприятные условия для укоренения трав сложились в 2022 году в опыте 1, когда в июне ГТК составил 0,87, а в августе – 0,05. В таких условиях люцерна и фестулолиум обеспечили получение только одного укоса.

Таблица 1 – Гидротермический коэффициент Селянинова Г.Т.
по вегетационным периодам 2022-2024 гг.

Годы	Гидротермический коэффициент					
	год	по месяцам				
		май	июнь	июль	август	сентябрь
2022	1,43	3,59	0,87	1,42	0,05	4,39
2023	1,26	0,81	1,58	2,63	0,65	0,23
2024	1,25	0,39	2,76	1,33	0,58	0,20

В целом на 2-3-ий гг. жизни травостоев тепловые режимы были достаточно благоприятными для получения трех укосов в течение одного года. Повышенный температурный фон ускорял развитие растений и достижение ими оптимальной фазы использования (бутонизации). Дефицит влаги в отдельные межукосные периоды для люцерны и эспарцета не были экстремальными, поскольку эти виды превосходят другие мезофильные травы по засухоустойчивости.

Заключение по главе 2

Анализ метеорологических условий показал, что в годы проведения исследований температурный режим и неравномерные условия атмосферного увлажнения являлись наглядными факторами потепления климата и увеличения его засушливости. Экспериментальные исследования позволили объективно оценить сорта люцерны изменчивой и люцерны желтой по устойчивости и урожайности при резко изменяющихся погодных условиях.

Закладка полевых опытов на почвах с разной степенью окультуренности направлена на изучение возможности использования менее плодородных почв для выращивания люцерны в условиях Нечерноземья. С целью повышения стрессоустойчивости к неблагоприятным климатическим и эдафическим условиям в экспериментальных исследованиях применяли регулятор роста Альбит, микробиологическое удобрение Спорин и микроудобрения.

ГЛАВА 3. ФОРМИРОВАНИЕ ТРАВОСТОЕВ ЛЮЦЕРНЫ ИЗМЕНЧИВОЙ И ЛЮЦЕРНЫ ЖЕЛТОЙ НА СРЕДНЕОКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

3.1. Ботанический состав травостоев

Беспокровные посевы в год посева нередко сильно засоряются однолетними дикорастущими растениями. В условиях опыта этого не наблюдалось, поскольку непосредственно предшественником трав являлась редька масличная, а до неё на данном участке в течение 16 лет возделывались многолетние травы при многократном скашивании, что предотвращало обсеменение сорных растений и пополнение банка семян в почве. Доля несеяных трав в ботаническом составе травостоев не превышала 1,6-4,9% (таблица 2).

Таблица 2 – Доля люцерны и фестулолиума в ботаническом составе травостоев, в %

Вариант	2022 г.	2023 г.			2024 г.		
	1 укос	1 укос	2 укос	3 укос	1 укос	2 укос	3 укос
Фестулолиум сорт Фест							
	97,5	89,9	85,5	84,7	87,8	75	64,3
Люцерна изменчивая сорт Агния							
Контроль	96,4	91,7	92,4	87	93,2	80,5	94,9
Альбит	98,4	89,4	92,0	92,6	93,1	82,8	98
Спорион	97,2	93,7	96,0	87,4	89,6	92,1	99,9
Молибдат аммония	93,5	92,2	93,8	83,4	86,4	81,9	99,0
Люцерна изменчивая сорт Таисия							
Контроль	95,4	90,5	89,2	90,1	88,6	83,4	96,2
Альбит	95,5	91,9	94,8	94,8	83,1	86,6	92
Спорион	98,1	90,8	93,2	90,7	98,3	87,9	99,8
Молибдат аммония	95,4	95,0	94,3	89,8	93,5	89,6	99,8
Люцерна желтая сорт Нижегородская							
Контроль	95,1	92,2	99,8	91,6	97,9	81,1	85,3
Альбит	97,1	93,6	98,8	90,3	97,4	82,9	89,4
Спорион	98,3	94,4	96,6	88,2	97,9	86,5	92,3
Молибдат аммония	96,3	97,7	95,9	88,5	92,9	82,4	92,3

На второй год жизни доля люцерны по укосам изменялась от 87 до 98,8%. Более устойчивым к внедрению сорных трав был травостой люцерны желтой, поскольку он характеризовался большей плотностью.

На третий год жизни не отмечалось изреживания травостоев и участие люцерны изменчивой в урожае третьего укоса по вариантам опыта составляло от 92,0% до 99,9%. Люцерна желтая несколько уступала люцерне изменчивой по этому показателю. Её участие в ботаническом составе 3-его укоса варьировалось от 85,3 до 92,3%. Наиболее засоренным был травостой фестулолиума, доля которого в засушливый период формирования третьего укоса снизилась до 64,3%. Люцерна изменчивая, наоборот, обладая высокой засухоустойчивостью, в условиях дефицита влаги увеличила свою долю в сложении растительного сообщества.

Участие несеяных злаков на протяжении всех лет использования травостоев было невысоким и не превышало 1,8% (приложение 1-7). Среди злаковых трав встречались мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), овсяница луговая (*Festuca pratensis* L.), райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.) – виды, которые ранее в течение длительного времени выращивались на этом участке.

Доля разнотравья в составе люцерновых травостоев варьировалась по вариантам и укосам в значительных пределах – от 0,1 до 18,4%. Она зависела от запаса семян и вегетативных зачатков сорных видов в почве. Из многолетних видов встречались одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.), а однолетние виды были представлены пастушьей сумкой обыкновенной (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.), трёхрёберником непахучим (*Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch.Bip.), горцем птичьим (*Polygonum aviculare* L.). В условиях дефицита влаги люцерна является очень конкурентоспособным растением, способным активно противостоять внедрению в агрофитоценоз сорных видов, но она плохо переносит избыток влаги. В период формирования второго укоса в 2024 году количество

атмосферных осадков превысило норму в два раза, что отрицательно сказалось на росте люцерны, и способствовало увеличению доли разнотравья в урожае до 7,2-18,4% (приложение 6), причем при некорневом внесении различных препаратов массовая доля разнотравья была меньше, чем в контрольном варианте.

3.2. Динамика густоты растений и плотности травостоев

По данным многих исследователей в 1-2-ой годы жизни люцерны должна иметь густоту не менее 100-200 растений на 1 м². Для старовозрастных травостоев критической густотой является 40-43 растения и при понижении этого уровня уже может возникнуть необходимость в перезалужении таких травостоев. Урожайность люцерны зависит от количества растений на единице площади, количества побегов на растение и массы побега (Volenec J.J. et al., 1987). При рекомендуемых нормах высева люцерны 14-18 кг/га не всегда удается получить травостой с необходимой густотой растений, хотя при таких нормах на 1 м² всевается от 700 до 900 всхожих семян. Исследования показали, что полевая всхожесть семян люцерны изменяется от 44 до 79% (Минина И.П., 1972), что меньше, чем у большинства однолетних полевых культур. Мелкие семена трав требуют заделки в почву на небольшую глубину 1-2 см. Этот верхний слой почвы имеет неустойчивое обеспечение влагой необходимой для прорастания семян. Люцерны выносит семядоли на поверхность почвы, поэтому она не переносит глубокой заделки семян в почву. Также следует учитывать, что многолетние травы медленно развиваются в год посева и слабая корневая система в периоды майских засушливых условий не всегда способна обеспечить растения влагой, и всходы погибают. Неблагоприятные почвенные условия также могут оказать отрицательное влияние на полевую всхожесть трав. В наших исследованиях непосредственно после посева условия увлажнения были благоприятными, поэтому полевая всхожесть люцерны составляла 42-50%. Последующий период роста и развития трав в июне характеризовался резким

дефицитом осадков. Выпало всего 63% осадков, а ГТК составил 0,87. Крайне засушливые условия сложились в августе, когда количество осадков за весь месяц составило 3,1°С, а среднесуточная температура воздуха превысила норму на 4,2°С. В таких условиях произошло изреживание растений и перед уходом в зиму на 1 м² насчитывалось от 174 до 194 растений (рисунок 4, приложение 8).

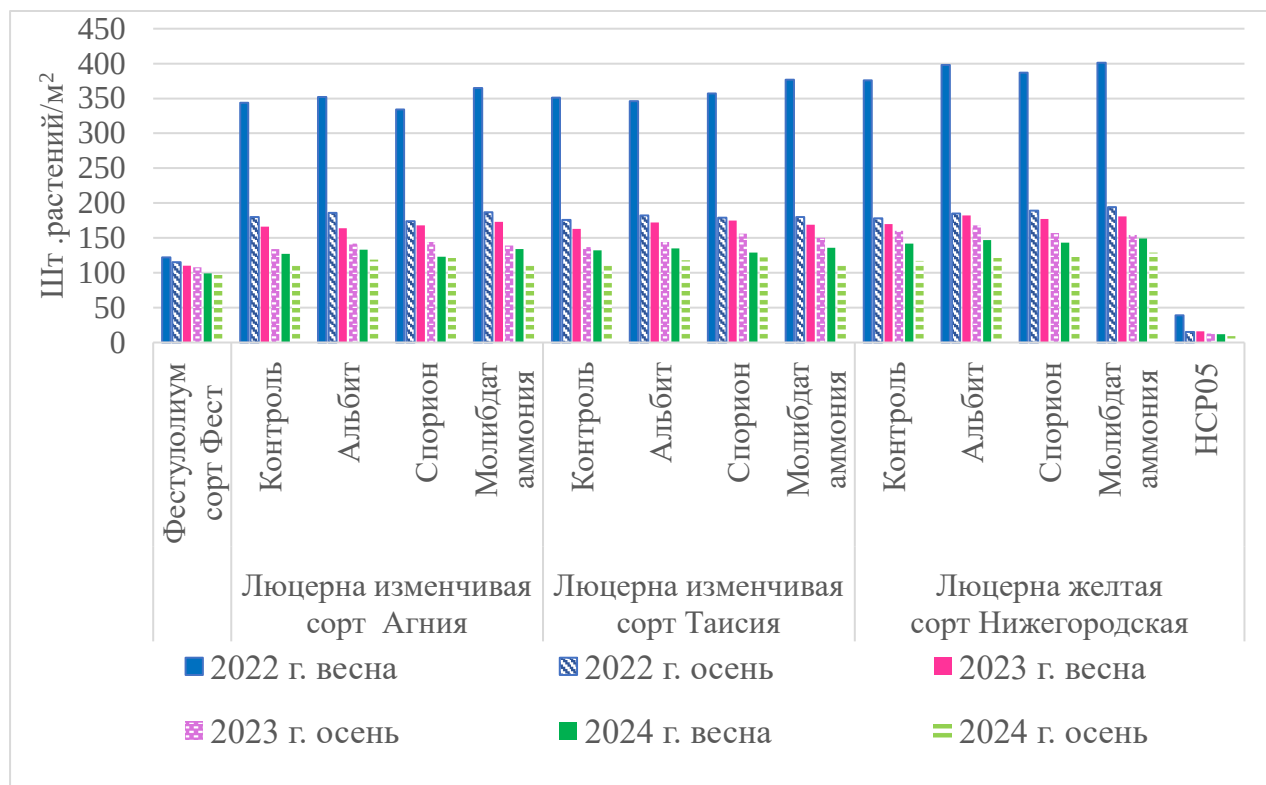


Рисунок 4 – Динамика густоты растений люцерны и фестулолиума, шт. растений на 1 м²

В последующие годы густота люцерны постепенно снижалась, причем изреживание травостоев отмечалось как в периоды вегетации, так и в периоды перезимовки. Так, после возобновления вегетации весной 2023 года густота люцерны составляла от 163 до 182 растений, то к осени она уменьшилась до 130-168 шт. и к весне 2024 года до 123-149 растений на 1 м².

Результаты наших опытов согласуются с данными, полученными другими исследователями, которые установили, что из-за интенсивной конкуренции между растениями за свет и питательные вещества плотность растений со временем уменьшается, особенно в течение первых 6 месяцев после посева,

примерно до 300 растений/м² (Julier B. et al., 2017) или до 350-365 растений к концу первого года жизни (Горковенко Л.Г., 2008; Троц В.Б., 2008). В других исследованиях установлено, что при более высокой густоте гибель растений в первый год после посева была в восемь раз выше по сравнению с более низкой густотой растений. Нормы высева больше или немного меньше рекомендуемых практически не влияют на продолжительность жизни люцерны. При более высокой густоте происходит более значительное изреживание травостоев (Hall M.H. et al., 2004).

В момент прекращения вегетации 2024 года в среднем по всем вариантам густота люцерны Агния, Таисия и Нижегородская составляла соответственно 116 растений, 117 и 123 растения на 1 м². Прослеживалась тенденция более высокой сохранности растений у люцерны желтой сорта Нижегородская, но различия между сортами были несущественными. Также не выявлено закономерного влияния регулятора роста и удобрений на сохранность растений в течение трех лет использования травостоев. В исследованиях, выполненных в Волгоградской области, установлено, что густота люцерны к концу третьего года жизни снизилась в 2,8 раза с 250 до 89 растений на 1 м² (Колобанов Н.С., 2007), что согласуется с данными, полученными в нашем опыте. Густые травостои не только препятствуют внедрению в свой состав сорных трав, но и дают более высокие урожаи, хотя определяющее значение имеет мощность побегов (Смелов С.П., 1966). В условиях опыта в первый год жизни, несмотря на неблагоприятные условия увлажнения, люцерна сформировала довольно плотные травостои – от 774 до 868 побегов на 1 м² (таблица 3).

На второй год жизни от первого к третьему укосу густота травостоев снижалась с 918-991 до 602-699 шт. побегов на 1 м². Несмотря на дефицит влаги в мае, весеннего запаса влаги в почве хватило люцерне, чтобы сформировать продуктивные травостои с достаточно высокой густотой побегов. Неравномерное выпадение дождей в июне снизило интенсивность побегообразования травостоев во втором укосе на 114-233 побега.

Таблица 3 – Количество побегов фестулолиума и люцерны в первый и второй годы жизни агрофитоценозов, шт. на 1 м²

Вариант	2022 г.	2023 г.		
	1-ый укос	1-ый укос	2-ой укос	3-ий укос
Фестулолиум сорт Фест				
	567	856	785	518
Люцерна изменчивая сорт Агния				
Контроль	814	945	798	602
Альбит	828	970	841	654
Спорион	815	936	820	630
Молибдат аммония	819	991	876	674
Люцерна изменчивая сорт Таисия				
Контроль	805	918	819	629
Альбит	819	937	876	688
Спорион	848	912	864	643
Молибдат аммония	825	963	898	711
Люцерна желтая сорт Нижегородская				
Контроль	774	935	745	677
Альбит	807	971	738	658
Спорион	868	939	780	672
Молибдат аммония	817	973	815	699
НСР ₀₅	66	77	70	55

В период формирования третьего укоса запасы почвенной влаги были в значительной мере использованы, пополнение влаги в почве за счет осадков было недостаточным и неравномерным, поэтому в третьем укосе густота травостоев снизилась до 602-699 побегов на 1 м². На третий год жизни во всех трех укосах люцерны имели густые травостои – 712-1051 побег на 1 м² (рисунок 5, приложение 9). Люцерна желтая сорта Нижегородская превосходила по интенсивности побегообразования люцерну изменчивую во всех трех укосах. Её густота составляла по вариантам опыта от 804 (контроль) до 1051 побега на 1 м² (вариант с Альбитом).

При некорневом внесении Альбита во втором укосе густота люцерны возрастала на 7,2% и в третьем – на 22,4%.

В первом укосе люцерны Таисия формировала травостои с большим количеством побегов, чем сорт Агния, а в последующих укосах существенных различий между этими сортами по вариантам не выявлено.

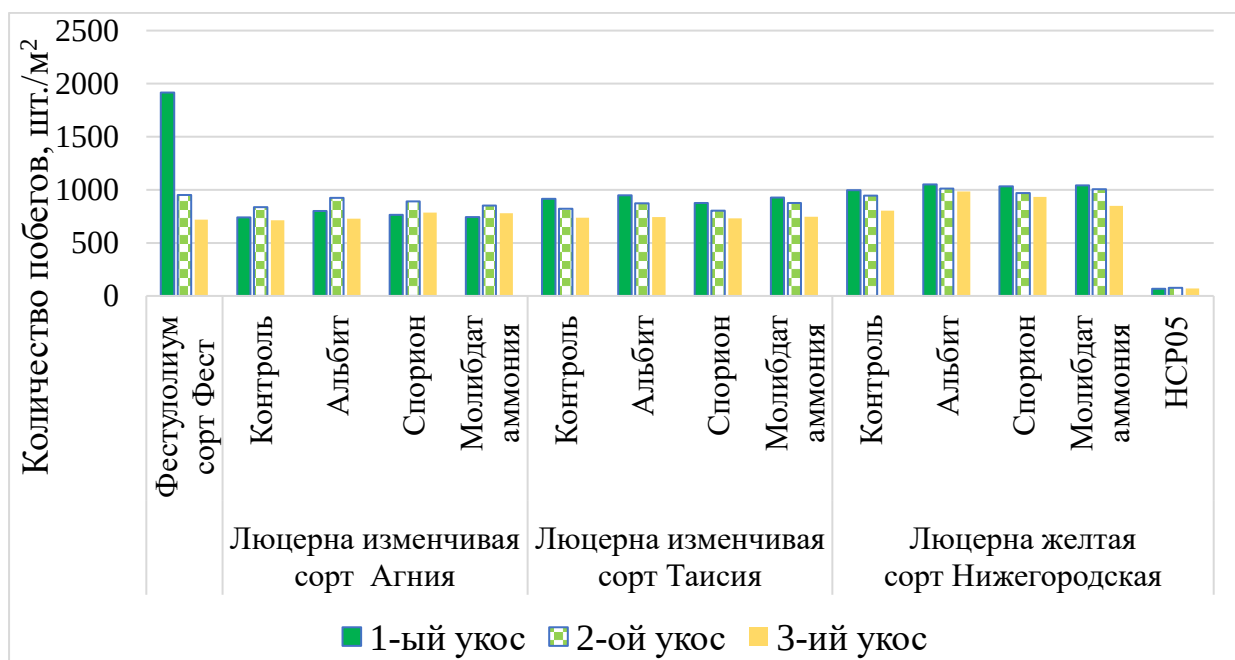


Рисунок 5 – Количество побегов люцерны в агрофитоценозах на третий год жизни, шт./м²

3.3. Динамика высоты люцерны и фестулолиума по укосам

Считается, что высота растений – это показатель, тесно коррелирующий с кормовой продуктивностью трав. В опытах с люцерной выявлена прямая корреляционная зависимость между высотой люцерны и урожайностью ($r = 0,88$) (Шатский И.М. и др., 2016).

В наших исследованиях в год посева во все летние месяцы температура воздуха превышала среднемноголетние значения на 0,8-4,2°C, а количество осадков в июне составило 63% и в августе только 4% от нормы. Особенно отрицательно сказался на росте и развитии всходов люцерны дефицит влаги в июне. Хотя в июле месячная норма осадков была превышена на 9%, но 82% месячной нормы пришлось на три ливневых дождя по 12,1, 23 и 33 мм, что не обеспечивало равномерный водный режим для вновь формирующихся травостоев. Засушливые условия ускорили прохождение люцерной фаз вегетации, но было принято решение перенести срок скашивания на более позднее время, чтобы предотвратить отрицательное влияние высоких

температур на люцерну. Несмотря на длительный период вегетации, высота люцерны составила 51,6-56,7 см (рисунок 6, приложение 10), то есть она находилась в пределах значений, которые были характерны для растений люцерны на второй и третий годы жизни.

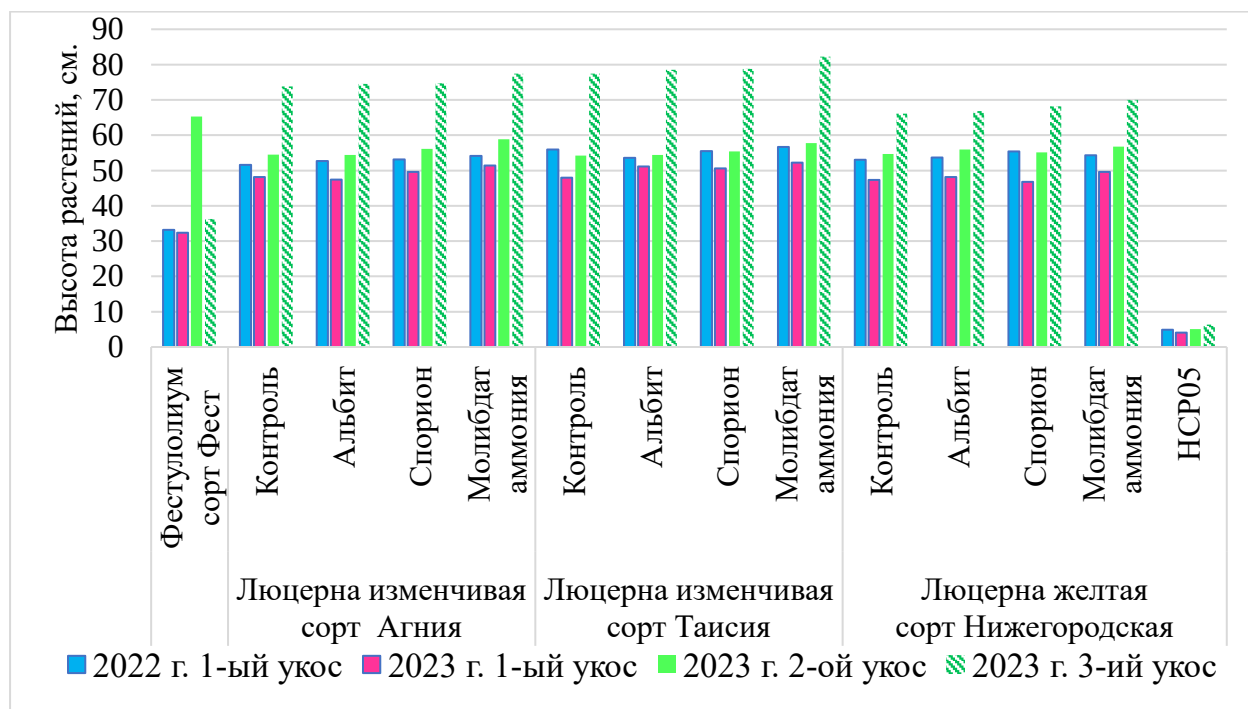


Рисунок 6 – Высота люцерны и фестулолиума в 1-ый и 2-ой годы жизни, см

Особенно неблагоприятные условия для укоренения сложились для фестулолиума, который является значительно менее засухоустойчивым растением, чем люцерна. За трехмесячный период роста его высота составила всего 33,2 см.

Раннее весеннее возобновление вегетации в 2023 году (второй год жизни) позволило уже 17 мая провести первый укос, когда высота люцерны составляла 46,8-52,2 см. Это было оправданным, поскольку задержка с проведением первого укоса могла бы сместить период формирования третьего укоса на более позднее время, когда условия увлажнения были крайне неблагоприятными. В таких условиях не было гарантии получения полноценного третьего укоса. Первый укос был сформирован в основном за счет весенних влагозапасов почвы, поскольку за первые две декады мая до скашивания трав выпало только

9,7 мм осадков. Быстрому росту трав способствовал благоприятный тепловой режим. Температура воздуха в апреле превысила среднемноголетние значения на 3,2°C. Рост люцерны во втором укосе до скашивания продолжался 49 дней, и за этот период она достигла высоты 54,2-58,8 см, то есть ежесуточный прирост в высоту составлял 1,1-1,2 см.

Следует отметить, что условия атмосферного увлажнения в этот период были неравномерными. В первой декаде июня количество осадков составило 13,7 мм, во второй декаде их не было совсем, а в третьей декаде – 64,4 мм. В целом июнь не отличался по количеству осадков от среднемноголетних значений, но длительные периоды без дождей и их ливневый характер не благоприятствовали равномерному росту трав.

Третий укос трав формировался в течение большего времени, чем предыдущие – в течение 64 дней, поэтому здесь отмечена наибольшая высота трав – 66,8-88,2 см, а прирост в высоту составлял 1,0-1,6 см в сутки. В июле количество осадков превысило среднемноголетнюю норму в 1,8 раза, но 56% из них выпало за три дня. С 1 по 19 августа отмечался резкий дефицит осадков – их количество за этот период составило только 14,9 мм. Дефолиация трав в засушливый период могла отрицательно сказаться на их долголетию, поэтому время укоса было перенесено на более позднее время – 9 сентября. Если в первом и втором укосах высота люцерны желтой практически не отличалась от люцерны изменчивой, то в третьем укосе она была на 6-10 см меньше.

Наиболее действенное влияние на высоту люцерны оказала некорневая подкормка молибдатом аммония. По отношению к контрольному варианту высота люцерны возросла на 2,3-4,8 см.

Фестулолиум является довольно теплолюбивым растением, поэтому по скорости возобновления весенней вегетации он уступает аборигенным злаковым травам – овсянице луговой, тимофеевке луговой и тем более раннеспелой еже сборной. По этой причине при раннем сроке скашивания в первом укосе большинство побегов фестулолиума еще не достигли фазы

колошения, поэтому его линейный рост не превысил 32,4 см. Генеративные побеги, у которых не затронуты точки роста, продолжали расти и во втором укосе достигали фазы колошения. По этой причине у фестулолиума максимальная высота отмечалась именно во втором укосе (65,3 см). В третьем укосе практически все побеги были укороченными, поэтому их высота по отношению ко второму укосу снизилась до 36,3 см, то есть в 1,8 раза.

Наиболее четкие различия между сортами трав проявились на третий год жизни. Во всех укосах, кроме второго в варианте со Спорионом, люцерна желтая формировала более низкорослые травостои, уступая люцерне изменчивой по высоте на 6,5-14,5 см (таблица 4). Сорт Таисия превосходил по линейному росту сорт Агния в варианте со Спорионом во втором и третьем укосах соответственно на 10,9 и 6,0 см. Достоверное увеличение высоты всех сортов трав проявилось в первом укосе при некорневой подкормке молибденом. Во втором укосе положительная реакция отмечалась у сорта Таисия при применении Альбита и Спориона, у сорта Агния увеличилась высота в варианте с Альбитом. В третьем укосе проявилось действие молибдена на всех сортах, а Спориона – на высоте сорта Таисия.

Обычно наибольшая высота при скашивании в оптимальные фазы вегетации отмечается у растений в первом укосе. Так, в опытах в Воронежской области в среднем за три года исследований высота травостоя люцерны (фаза начала цветения) в первом укосе составила 67–81 см, во втором – 54-63 см, третьем – 38-61 см (Шатский И.М. и др., 2016). Это обусловлено как биологическими особенностями трав, так и хорошими условиями увлажнения в весенний период.

В нашем опыте первый укос проводили в начале бутонизации люцерны с той целью, чтобы формирование последующих укосов проходило при более благоприятном тепловом и водном режимах.

Таблица 4 – Высота растений люцерны и фестулолиума на 3-ий год жизни, см

Вариант	1-ый укос	2-ой укос	3-ий укос
Фестулолиум сорт Фест			
	40,1	45,6	25,0
Люцерна изменчивая сорт Агния			
Контроль	48,7	58,2	53,4
Альбит	47,9	63,9	55,6
Спорион	53,0	59,2	51,2
Молибдат аммония	53,9	61,0	59,4
Люцерна изменчивая сорт Таисия			
Контроль	51,4	59,4	53,8
Альбит	48,5	63,2	55,5
Спорион	52,6	66,1	57,2
Молибдат аммония	55,2	62,9	59,1
Люцерна желтая сорт Нижегородская			
Контроль	41,4	51,6	42,1
Альбит	39,4	51,5	41,1
Спорион	46,1	59,0	43,5
Молибдат аммония	45,4	51,3	47,4
НСР ₀₅	3,5	3,9	3,3

Особенно это касается третьего укоса, значительная часть которого формируется в августе. В Москве температура воздуха в этом месяце превышала средне многолетние значения в 2022, 2023 и 2024 гг. соответственно на 4,3; 2,1 и 1,2°C, а количество осадков составило 5; 85 и 44% от нормы. Первый укос в 2023 году был проведен 17 мая и в 2024 году – 25 мая. Этому способствовал также повышенный тепловой режим, когда в апреле температура воздуха была выше нормы в 2023 году на 2,8°C и в 2024 году – на 4°C. Оптимизация календарных сроков скашивания позволила получить три полноценных укоса, при этом в 2024 году максимальной высоты травы достигали во втором укосе, а в 2023 году – в третьем.

3.4. Облиственность различных сортов люцерны

Листья растений являются не только основным фотосинтезирующим органом растений, но и важной частью урожая, обеспечивающей получение

кормов высокого качества. Считается, что листья содержат в 2-3 раза больше протеина и минеральных веществ, чем стебли. Листья также накапливают значительно меньше сырой клетчатки. По мере прохождения фаз вегетации происходит увеличение высоты стеблей. В стеблях накапливаются структурные элементы – целлюлоза и лигнин, которые придают прочность стеблям. По мере старения растений уменьшается не только доля листьев в урожае, но и за счет ростового разбавления уменьшается концентрация очень важных питательных компонентов корма. Чем в более ранние фазы вегетации проводится уборка урожая трав, тем выше питательность кормов. У низовых злаковых трав во 2-ом и последующих укосах урожай может состоять из одних укороченных побегов, которые фактически на 100% состоят из листьев.

Люцерна, как бобовое растение, во всех укосах по мере роста формирует как осевые, так и побеги ветвления в отличие от злаковых трав, которые в своем большинстве не ветвятся, поэтому быстрее грубеют по мере прохождения фаз вегетации.

Доля листьев в урожае первого укоса в 2023 году варьировалась от 40 до 46%, во втором она возросла до 49-54% и в третьем укосе снизилась до уровня первого укоса – 43-51% (таблица 5). В 2024 году доля листьев в урожае люцерны находилась в таких же пределах. Она изменялась от 42 до 56%, но максимальной она оказалась в третьем укосе, а между первым и вторым укосами различия по облиственности были небольшими. Тепловой и водный режим, несомненно, оказывают влияние на соотношение листовой и стеблевой частей растений в урожае. При жаркой погоде растения быстрее развиваются, быстрее проходят фазы вегетации, и могут сформировать низкорослые травостои с большей долей листьев. В тоже время при острозасушливых условиях облиственность может и уменьшиться.

В 2024 году люцерна желтая уступала по высоте побегов люцерне изменчивой, поэтому просматривалась тенденция более высокой облиственности именно этого вида люцерны.

Таблица 5 – Облиственность побегов люцерны изменчивой и люцерны желтой, в %

Вариант	2023 год			2024 год		
	1-ый укос	2-ой укос	3-ий укос	1-ый укос	2-ой укос	3-ий укос
Фестулолиум сорт Фест						
	52	39	81	89	26	74
Люцерна изменчивая сорт Агния						
Контроль	46	52	43	42	49	52
Альбит	46	51	44	42	47	52
Спорион	45	52	43	45	48	54
Молибдат аммония	44	51	44	47	48	52
Люцерна изменчивая сорт Таисия						
Контроль	40	50	41	44	46	51
Альбит	43	52	48	42	52	51
Спорион	44	49	46	43	48	50
Молибдат аммония	46	48	45	47	48	52
Люцерна желтая сорт Нижегородская						
Контроль	46	51	43	44	42	50
Альбит	45	54	51	46	48	53
Спорион	46	50	46	48	48	51
Молибдат аммония	46	49	46	47	49	56
НСР ₀₅	3	4	3	4	4	5

Не выявлено закономерного влияния регулятора роста и удобрений на облиственность люцерны сорта Агния. У сортов Таисия и Нижегородская в среднем за два года облиственность при внесении препаратов была на 2-4% выше.

Что касается фестулолиума, то в 2023 году при раннем проведении первого укоса 17 мая он даже не достиг фазы колошения, поэтому его облиственность была на высоком уровне и составляла 52%. Во втором укосе в травостое значительную долю составляли менее облиственные генеративные побеги, у которых точки роста не были затронуты первым скашиванием, поэтому здесь в урожае преобладали стебли, на долю которых приходился 61%.

В третьем укосе урожай состоял из низкорослых вегетативных побегов, поэтому доля листьев в урожае возросла до 81%. Если люцерна обеспечивала свою потребность в азоте за счет симбиотической азотфиксации, то фестулолиум для получения хорошего урожая и продуктивного долголетия требовал внесения минерального азота. В условиях опыта азот не применяли, что задерживало весеннее отрастание фестулолиума, и к моменту уборки первого укоса доминирующими были хорошо облиственные вегетативные побеги с долей листьев 89%. Во втором укосе, как и в 2023 году преобладали генеративные побеги с частично скошенными листьями, поэтому здесь доля листьев была наименьшей – 26%. Полноценный третий укос в условиях засухи не успел сформироваться и облиственность низкорослых вегетативных побегов возросла до 74%.

3.5. Урожайность люцерны изменчивой и люцерны желтой

В первый год при дефиците почвенной влаги получен только один укос, и урожайность составила от 2,29 до 2,71 т/га сухого вещества (Дикарева С.А. и др., 2024б) Большинство видов многолетних трав дают наибольшие урожаи на 2-3-ий годы жизни, за исключением корневищных видов, которые медленнее развиваются, и их пик урожайности может приходиться на 3-4-ый годы жизни.

На люцерне Таисия прибавку урожая обеспечил Спорион, а на Нижегородской Альбит и Спорион. В 2023 году (2-ой год жизни) за три укоса люцерна сформировала высокий урожай – 7,94-8,71 т сухого вещества с 1 га. Существенное повышение урожайности на 7,8% обеспечила люцерна желтая сорта Нижегородская при некорневом применении молибдата аммония. На третий год жизни урожайность люцерны возросла 8,98-10,28 т/га, причем сорта Агния и Таисия наиболее положительно реагировали на применение Альбита, а сорт Нижегородская – на использование Спориона (рисунок 7, приложение 11-15).

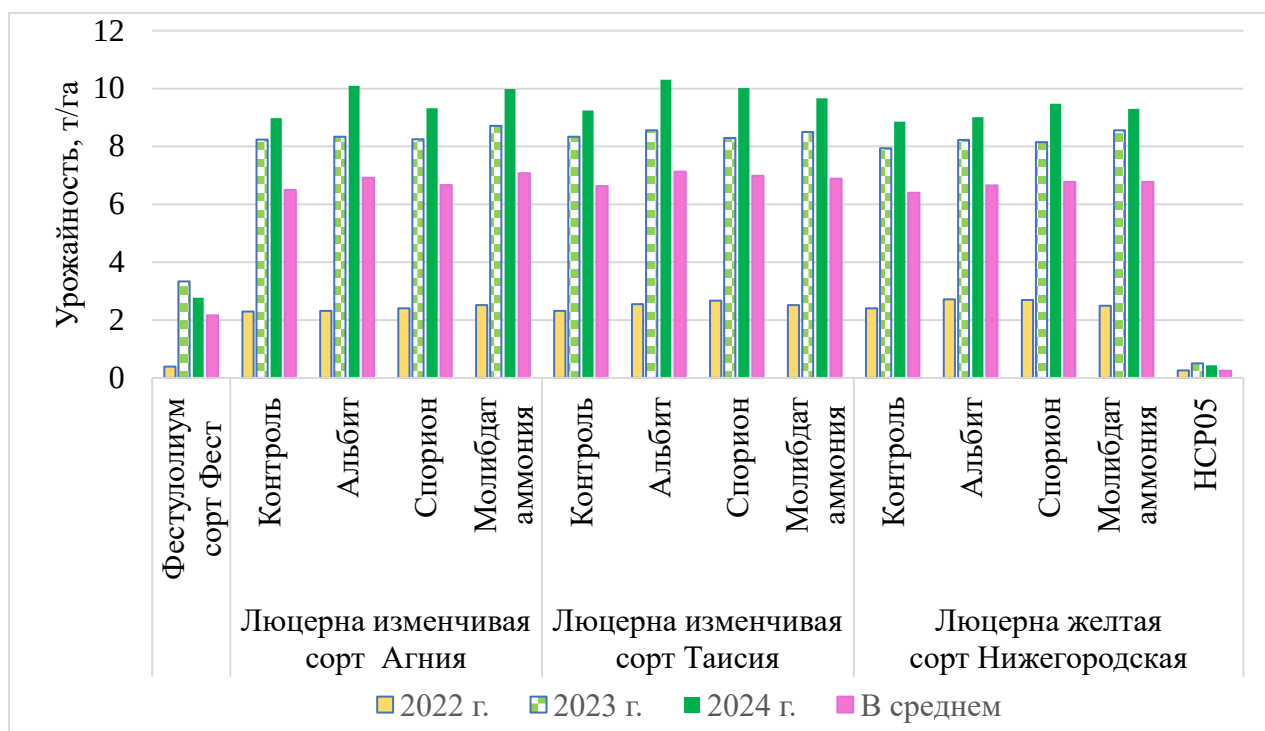


Рисунок 7 – Урожайность люцерны изменчивой, люцерны желтой и фестулолиума, т/га сухого вещества

В среднем за три года сбор кормов при внесении различных препаратов варьировался от 6,65 до 7,13 т/га. На сортах Агния и Нижегородская наибольшее повышение урожая по сравнению с контрольными вариантами отмечалось при применении молибденового удобрения, на сорте Таисия – Альбита, соответственно 8,8; 5,9 3,6%. В среднем по трем препаратам урожайность сорта Агния составила 6,88 т/га, сорта Таисия – 7,00 и сорта Нижегородская – 6,73 т/га, то есть люцерна желтая Нижегородская практически не уступала по продуктивности сортам люцерны изменчивой. Она формировала менее высокорослые побеги, но превосходила сорта люцерны изменчивой по густоте травостоев. Без внесения минерального азота урожайность фестулолиума в среднем за 3 года составила 2,16 т/га, что в 3,0-3,3 раза меньше, чем люцерна (Dikareva S.A., Kurenkova E.M., Lazarev N.N. 2024).

Оценка продуктивности по выходу обменной энергии показывает, что при некорневом применении препаратов он возрастает с 63,5-65,9 до 66,2-71,1 ГДж с 1 га, то есть на 5,5-6,1%.

В условиях 2023 года оптимизация календарных сроков скашивания позволила получить в первом укосе 24,8-28,4%, во втором – 32,8-36,1% и в третьем – 38,1-39,6% от годового урожая (таблица 6).

Таблица 6 – Распределение урожая люцерны и фестулолиума по укосам, %

Вариант	2023 г.			2024 г.		
	Укосы					
	1-ый	2-ой	3-ий	1-ый	2-ой	3-ий
Фестулолиум сорт Фест						
	31,1	31,4	37,5	53,8	33,9	12,3
Люцерна изменчивая сорт Агния						
Контроль	25,8	34,6	39,6	29	43,3	27,7
Альбит	27,5	33,5	39,0	33,6	39,5	26,9
Спорион	28,2	34,5	37,3	36,4	37,4	26,2
Молибдат аммония	30,0	33,5	36,5	34,7	41,3	24,0
Люцерна изменчивая сорт Таисия						
Контроль	25,9	34,9	39,2	37,6	39,3	23,1
Альбит	28,4	32,8	38,8	34,1	38,7	27,2
Спорион	27,6	34,0	38,4	35,4	40,6	24,0
Молибдат аммония	30,8	35,4	33,8	31,1	41,4	27,5
Люцерна желтая сорт Нижегородская						
Контроль	26	35,9	38,1	28,7	47,0	24,3
Альбит	24,8	36,1	39,1	30,1	41,4	28,5
Спорион	26,1	35,1	38,8	35,8	40,2	24,0
Молибдат аммония	26,0	40,5	33,5	36,6	39,8	23,6

В период формирования третьего укоса с 7 июля сложились благоприятные условия для роста и развития люцерны. Количество осадков превысило в июле норму в 1,9 раза, а отклонение от нормы по температуре воздуха составило -1,2°C. В условиях невысокого уровня теплового режима замедляется развитие трав, и межукосный период удлиняется, что благоприятствует получению более высокого урожая. Хотя первые две декады августа были практически без дождей, июльского запаса влаги в почве было достаточно для того, чтобы получить максимальный урожай именно в третьем укосе.

В 2024 году наиболее оптимальные условия для люцерны сложились в период формирования второго укоса с 26 мая по 5 июля, когда выпало 2,5 нормы осадков, а температура превысила среднемноголетнюю норму на 2,5°C. В этих

условиях урожай второго укоса оказался максимальным – 39,3-47,0 % от общего сбора корма за все укосы. На третий укос приходилась наименьшая доля валового сбора корма люцерны – 23,1-28,5%, поскольку условия увлажнения были неблагоприятными из-за недостаточного количества осадков и повышенной температуры воздуха. Особенно отрицательно реагировал на дефицит влаги фестулолиум, урожайность которого снизилась по сравнению со вторым укосом в 2,8 раза. Проведение первого укоса в ранние сроки способствовало получению трех полноценных урожаев с достаточно равномерным поступлением зеленого корма по укосам (Дикарева С.А., 2024в).

Заключение по главе 3

На среднеоккультуренной дерново-подзолистой почве сорта люцерны изменчивой Агния и Таисия, а также сорт люцерны желтой Нижегородская на 2-3-ий годы жизни формировали высокие урожаи – 7,94-10,28 т/га сухой массы. В средней за три года люцерна желтая Нижегородская обеспечила получение 6,4-6,78 т/га сухого вещества. Она уступила по продуктивности только сорту Таисия при внесении Альбита и сорту Агния – в варианте с применением молибдена. В среднем за 3 года на слабокислой дерново-подзолистой почве некорневое применение регулятора роста Альбит, микробиологического удобрения Спорин и молибдата аммония способствовало повышению урожайности люцерны сортов Таисия и Нижегородская на 3,9-7,5%. Сорт Агния обеспечивал прибавки урожая при внесении молибдата аммония и Альбита – соответственно 8,8 и 6,5%. Люцерна желтая формировала менее высокорослые побеги, но превосходила сорта люцерны изменчивой по густоте травостоев.

В целом все сорта характеризовались довольно высокой устойчивостью в агрофитоценозах. Осенью 2024 года перед уходом в зимовку в среднем по всем вариантам густота люцерны Агния, Таисия и Нижегородская составляла соответственно 116, 117 и 123 растения на 1 м².

ГЛАВА 4. ФОРМИРОВАНИЕ ТРАВОСТОЕВ ЛЮЦЕРНЫ ИЗМЕНЧИВОЙ И ЭСПАРЦЕТА ПЕСЧАНОГО НА СЛАБООКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

4.1. Ботанический состав и густота травостоев

Многолетние травы в первый год жизни медленно развиваются и могут в значительном количестве засоряться однолетними сорными растениями, которые быстро растут, угнетая рост всходов трав. В условиях опыта главным засорителем вновь формирующихся травостоев являлся однолетний злак – ежовник обыкновенный (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.). Его доля в ботаническом составе агрофитоценозов в вариантах с люцерной составляла от 14,7 до 31,1%, а в вариантах с эспарцетом 31,3-38,6%. Участие люцерны в составе травостоев в первый год жизни по вариантам опыта варьировалось от 53,3 до 72,9% (рисунок 8), а в травостое эспарцета доминировали несеяные виды, на долю которых приходилось 65,1-76,9% урожая. Было проведено подкашивание сорных трав на высоте 20 см, что снизило конкурентную способность и предотвратило их обсеменение, но массовая доля дикорастущих трав в урожае осталась высокой. Из несеяных растений в травостоях всех вариантов в количестве 3,1-9,0% присутствовал клевер луговой (*Trifolium pratense* L.), который появился из твердых семян, находящихся в почве (приложение 16-19).

На второй год жизни наиболее чистые от сорных трав агрофитоценозы сформировала люцерна изменчивая при внесении регулятора роста Альбит и микробиологического удобрения Спорин совместно с комплексным микроудобрением Аквамикс. Доля люцерны в этих вариантах по укосам составляла от 90,1 до 99,2%. Засоренность разнотравьем и дикорастущими злаками была невысокой и варьировалась по укосам и вариантам соответственно от 0,5 до 12,6% и от 0 до 6,1% (приложения 16-19). Из разнотравья преобладали подорожник ланцетолистный (*Plantago lanceolata* L.), бодяк полевой (*Cirsium arvense* (L.) Scop.), одуванчик лекарственный, а из

несеяных злаков – тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.) и пырей ползучий (*Elytrigia repens* L.).

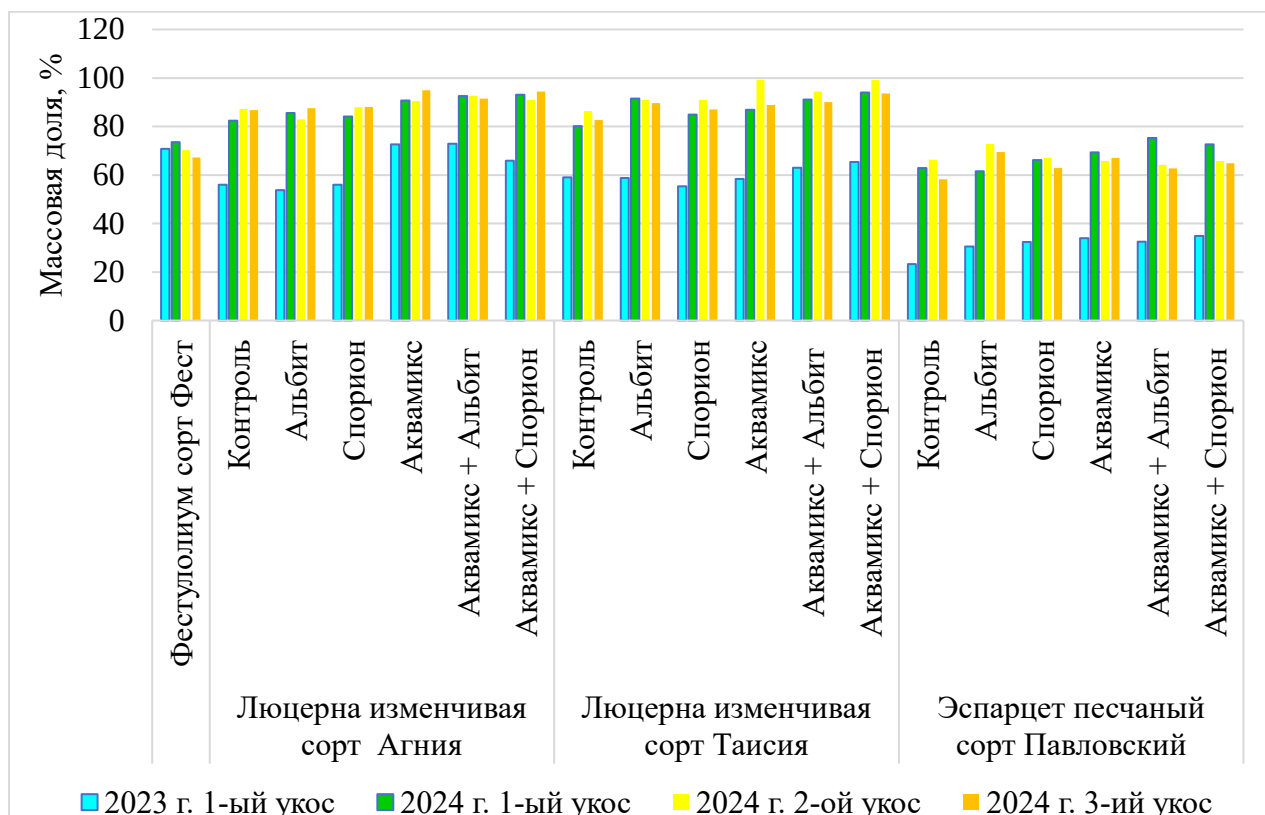


Рисунок 8 – Массовая доля люцерны изменчивой, эспарцета песчаного и фестулолиума в травостоях, в %

Следует отметить, что ежовник обыкновенный на второй год исследований практически не возобновлялся в травостоях, хотя некоторое количество семян могло попасть в почву из обсеменившихся растений.

Эспарцет песчаный на второй год жизни по-прежнему был сильно засорен различными видами дикорастущих трав, а доля основной культуры не превышала 58,2-75,2%. Это было обусловлено тем, что почвенные условия не соответствовали потребностям эспарцета, для которого повышенный уровень кислотности отрицательно сказался на всхожести и приживаемости растений.

Фестулолиум сорта Фест еще в большей степени, чем эспарцет был засорен дикорастущими травами. На сильно кислой почве без внесения минерального азота его доля в ботаническом составе травостоев в 2023 году составила 50,7% и в 2024 году – 57,8-63,6%.

Наряду с ботаническим составом, динамика густоты растений по годам жизни может, при прочих равных условиях, характеризовать устойчивость и долголетие растений. В первый год жизни перед уходом растений в зимовку сформировались густые травостои с количеством растений люцерны 376-446 шт. и эспарцета – 250-272 шт. на 1 м² (рисунок 9, приложение 20). Условия для укоренения всходов были более благоприятными, чем в опыте 1 в 2022 году, благодаря умеренному тепловому режиму и обилию атмосферных осадков. Полевая всхожесть люцерны в среднем составила 52% и эспарцета – 40%. К концу вегетационного периода 2024 года количество растений люцерны сорта Агния уменьшилось в 2,9-3,4 раза, сорта Таисия – 3,2-3,6 раза и эспарцета – в 4,6-5,5 раза по сравнению с осенним периодом предыдущего года.

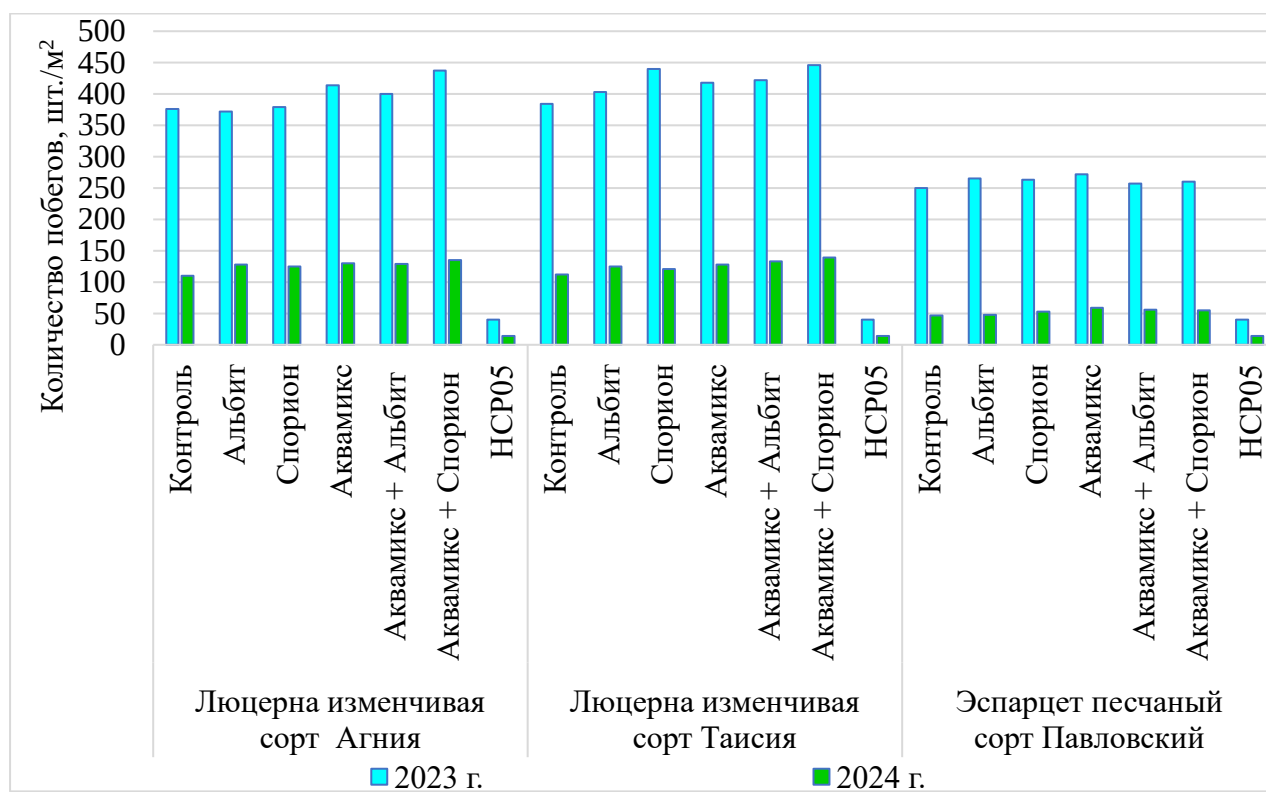


Рисунок 9 – Густота люцерны изменчивой и эспарцета песчаного перед уходом растений в зимовку, шт. растений на 1 м²

Несколько лучшая сохранность люцерны сортов Агния и Таисия отмечалась при комплексном внесении Аквамикса и Спориона – соответственно 135 и 139 растений на 1 м². Следует отметить, что

сохранившееся количество растений во всех вариантах является достаточным для получения хороших урожаев.

Для оценки реакции бобовых трав на внесение различных препаратов определяли не общую плотность травостоев, включая дикорастущие виды, а только количество побегов люцерны и эспарцета. В год залужения количество побегов люцерны изменялось от 1043 до 1226 шт. на 1 м², что в 2 раза превышало густоту эспарцета (рисунок 10, приложение 21).

Как люцерна сорта Агния, так и сорта Таисия имели наибольшее количество побегов при применении Аквамикса совместно со Спорионом – соответственно 1226 и 1284 шт. на 1 м². На второй год жизни во всех укосах люцерна положительно реагировала на внесение удобрений и регулятора роста, увеличивая побегообразовательную способность растений.

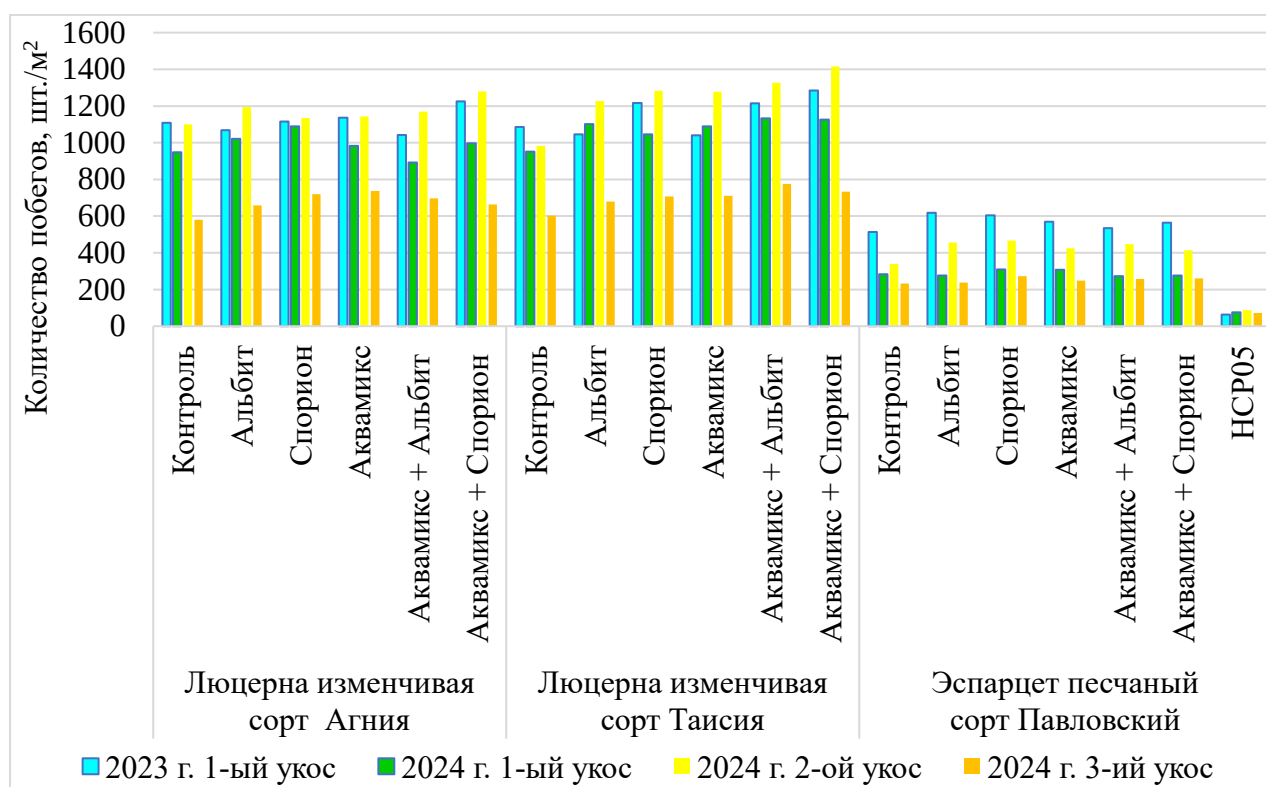


Рисунок 10 – Густота люцерны изменчивой и эспарцета песчаного, шт. побегов на 1 м²

В среднем по трем укосам люцерна Таисия превосходила по густоте люцерну сорта Агния. Во всех трех укосах более плотные травостои, насчитывающие 773-1415 побегов на 1 м², формировала люцерна сорта Таисия

при внесении Аквамикса в сочетании с Альбитом и Спорионом, то есть наблюдался синергетический эффект совместного действия препаратов. В опыте, выполненном на торфяной почве, при обработке семян люцерны комплексом из тритерпеновых кислот и микроэлементов (В+Мо) отмечалось ингибирование побегообразования, в то время как раздельное внесение препаратов увеличивало густоту побегов на 80-333 шт. на 1 м² (Птащев О.В., 2013).

Интенсивность побегообразования очень сильно зависела от условий влагообеспеченности. В период формирования второго укоса с 8 июня по 10 июля отмечалось наибольшее количество атмосферных осадков, что способствовало увеличению густоты травостоев люцерны на 90-193 побега и эспарцета – 126-128 побегов на 1 м². Дефицит осадков в сочетании с повышенной температурой в период роста трав в третьем укосе вызвал уменьшение густоты травостоев люцерны и эспарцета в 1,5-1,9 раза по сравнению со вторым укосом.

4.2. Высота и облиственность растений

В год посева многолетние травы медленно развивались и обеспечили получение только одного укоса, при этом высота люцерны по вариантам опыта варьировалась от 56,8 до 59,7 см и эспарцета – от 42,0 до 48,9 см.

На втором году жизни люцерна в первом укосе достигала наибольшей высоты – от 52,5 до 61,0 см. У люцерны сорта Таисия существенно увеличивалась высота во втором укосе при внесении как одного Альбита, так и с Аквамиксом, а также Спориона с Аквамиксом. В третьем укосе действенное влияние оказал Спорион и Аквамикс + Спорион, обеспечившие увеличение линейного роста люцерны соответственно на 5,8 и 5,7 см. У люцерны сорта Агния наблюдалась тенденция увеличения высоты растений при внесении препаратов по сравнению с контролем, но дисперсионный анализ не выявил достоверных различий между вариантами опыта. На кислой почве эспарцет во

всех укосах уступал по высоте люцерне, и его сильно засоренный травостой не проявил реакции на внесение удобрений и регулятора роста (таблица 7).

Таблица 7 – Высота люцерны изменчивой и эспарцета песчаного, см.

Вариант	2023 г.	2024 г.		
	1-ый укос	1-ый укос	2-ый укос	3-ый укос
Фестулолиум				
	35,8	46,0	37,5	26,6
Люцерна изменчивая сорт Агния				
Контроль	57,3	52,5	51,8	50,1
Альбит	58,6	60,5	55,5	53,3
Спорион	58,1	60,0	55,4	54,7
Аквамикс	59,7	56,3	53,3	53,6
Аквамикс + Альбит	58,0	58,1	55,9	52,1
Аквамикс + Спорион	57,6	58,9	55,7	53,8
Люцерна изменчивая сорт Таисия				
Контроль	56,8	55,0	51,0	50,7
Альбит	58,2	61,0	55,1	53,3
Спорион	59,2	60,4	54,5	56,5
Аквамикс	58,9	60,6	53,6	53,9
Аквамикс + Альбит	57,6	60,8	56,3	54,8
Аквамикс + Спорион	59,7	61,0	57,0	56,4
Эспарцет песчаный сорт Павловский				
Контроль	42,0	48,6	28,9	43,1
Альбит	48,5	50,1	30,7	43,0
Спорион	44,0	47,2	29,1	46,1
Аквамикс	48,9	50,8	23,8	44,3
Аквамикс + Альбит	45,6	48,7	30,5	42,6
Аквамикс + Спорион	46,3	49,4	32,1	44,3
НСР ₀₅	4,2	7,7	4,3	5,1

Кислая реакция почвы не оказала отрицательного влияния на соотношение листовой и стеблевой части урожая люцерны. В первый год жизни доля листьев в урожай по вариантам опыта была достаточно высокой – от 52 до 57% (таблица 8), несмотря на длительный период вегетации.

Таблица 8 – Облиственность побегов фестулолиума, люцерны изменчивой и эспарцета песчаного, в %

Вариант	2023 г.	2024 г.		
	1-ый укос	1-ый укос	2-ый укос	3-ый укос
Фестулолиум сорт Фест				
	100	37	42	100
Люцерна изменчивая сорт Агния				
Контроль	53	52	47	58
Альбит	53	50	51	58
Спорион	56	54	48	55
Аквамикс	52	55	52	58
Аквамикс + Альбит	54	56	49	57
Аквамикс + Спорион	52	53	49	55
Люцерна изменчивая сорт Таисия				
Контроль	53	47	49	57
Альбит	55	52	46	57
Спорион	57	51	50	56
Аквамикс	55	47	47	59
Аквамикс + Альбит	52	50	52	57
Аквамикс + Спорион	52	49	50	57
Эспарцет песчаный сорт Павловский				
Контроль	70	50	51	55
Альбит	68	53	49	49
Спорион	65	49	53	54
Аквамикс	67	49	53	50
Аквамикс + Альбит	72	51	55	52
Аквамикс + Спорион	71	52	54	52
НСР ₀₅	7	5	4	5

При позднем скашивании, а также в засушливых условиях, у люцерны листья могут осыпаться, что приводит к снижению качества получаемого корма. Различия в облиственности могут связаны не только с высотой растений, но и толщиной стеблей, которая может изменяться под воздействием регуляторов роста и удобрений. На второй год жизни облиственность у люцерны изменялась от 47 до 59%. Она была максимальной (55-59%) в третьем укосе, который формировался в условиях дефицита влаги. В первом укосе люцерна сорта Таисия несколько уступала по доли листьев в урожае сорту Агния, что,

по-видимому, обусловлено её большим ростом, который при некорневом внесении препаратов достигал 60,4-61,0 см.

На рост эспарцета песчаного в период укоренения всходов отрицательное влияние оказывала высокая кислотность почвы, поэтому он отставал по развитию от люцерны, и его более низкорослый травостой превосходил по облиственности люцерну, а доля стеблей составляла всего 30-35%. На второй год жизни в первом и втором укосах эспарцет существенно не отличался от люцерны по соотношению листовой и стеблевой частями урожая, а в третьем он уступал ей по этому показателю в среднем на 5%.

Фестулолиум в первый год жизни и на второй год в третьем укосе формировал только укороченные побеги, состоящие из листьев, поэтому облиственность составляла 100%. В первом и втором укосах значительная доля урожая приходилась на генеративные побеги, поэтому облиственность была значительно меньше – соответственно 37-42%. Следует отметить, что во втором укосе присутствовали генеративные побеги, у которых при первом раннем скашивании точки роста находились близко к поверхности почвы, и они не подверглись срезанию.

Регулятор роста, микробиологическое удобрение и микроудобрения в целом не оказали закономерного влияния на соотношение листовой и стеблевой частями урожая. Оно могло носить разнонаправленный характер, выражающийся в изменении количества листьев, размера листовых пластинок, толщины и высоты стеблей, но эти параметры в полном объеме в опыте не учитывались.

4.3. Урожайность фестулолиума, люцерны и эспарцета на слабоокультуренной почве

В первый год жизни сорта люцерны существенно не различались по урожайности, обеспечив получение от 2,47 до 2,82 т/га сухого вещества (рисунок 11, приложение 22-25).

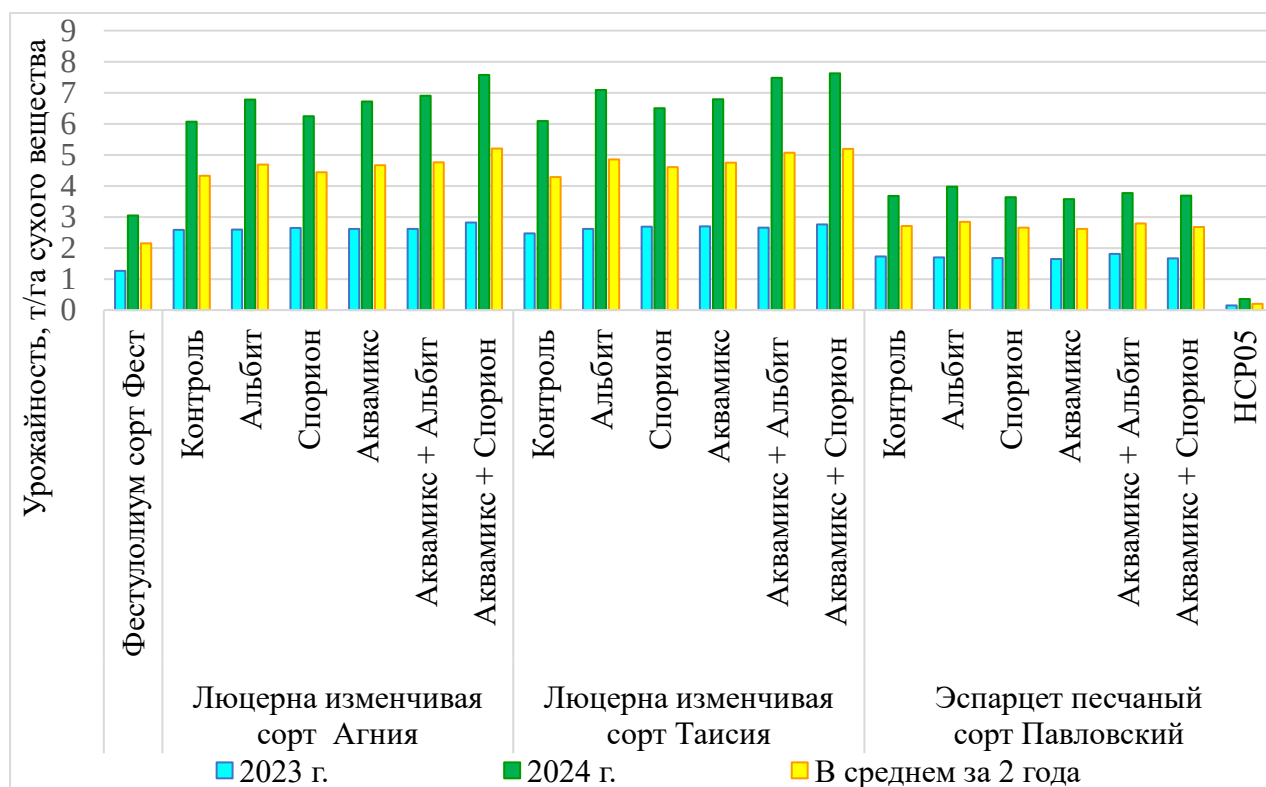


Рисунок 11 – Урожайность фестулолиума, люцерны изменчивой и эспарцета песчаного, т/га сухого вещества

Сорт Агния дал прибавку урожая 8,9% только в варианте Аквამикс + Спорион, а у сорта Таисия урожайность возросла во всех вариантах в среднем на 9,4%, кроме варианта с применением Альбита. Урожайность сильно засоренного травостоя эспарцета песчаного была в 1,6 раза меньше.

На второй год жизни урожайность люцерны за три укоса составила от 6,07 до 7,62 т/га сухого вещества. Сорт Таисия существенно повышал сбор корма по сравнению с контролем во всех вариантах, а у сорта Агния не проявилось влияние Спориона, однако при совместно применении этого препарата с Аквამиксом получена наибольшая продуктивность – 7,57 т/га. Люцерна Таисия в вариантах с совместным применением двух препаратов достоверно превышала по урожайности контроль на 22,8-25,1%, а другие варианты – на 5,5-17,2%. Почва характеризовалась низкой обеспеченностью молибденом и бором, поэтому внесение Аквамикса, содержащего в своем составе эти микроэлементы, было оправданным и способствовало повышению

урожайности люцерны. В исследованиях, выполненных в ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» на сильно- и среднекислой дерново-подзолистой почве, именно инокуляция штаммом СХМ 404Б обеспечивала наибольшие прибавки урожая (Степанова Г.В., 2023).

На первый укос приходилось 40,9-46,6% от годового урожая. В 2024 году люцерна возобновила весеннюю вегетацию уже 9 апреля и в течение всего месяца температура воздуха превышала среднемноголетние значения, что благоприятно сказалось на росте и развитии трав. В условиях прохладного мая, наоборот, развитие растений замедлилось, и они вступили в фазу полной бутонизации 8 июня, когда было проведено скашивание трав. Фактически формирование первого укоса продолжалось два месяца, что в значительной степени обеспечило высокий уровень урожая в первом укосе, несмотря на дефицит осадков в мае.

В условиях повышенного теплового фона и обильных дождей в период формирования второго укоса люцерна достигла укосной спелости всего за 30 дней, обеспечив получение 1,95-2,79 т/га сухого вещества, что соответствует 31,8-40,4% годового урожая. Люцерна превосходит многие травы по засухоустойчивости, но резкий недостаток осадков в сочетании с высокими температурами воздуха ограничил урожайность третьего укоса на уровне 1,22-1,59 т/га сухой массы.

В среднем за два года люцерна сорта Агния обеспечивала достоверно более высокий урожай при применении Спорiona в сочетании с Аквамисом – 5,2 т/га, а сорт Таисия – в вариантах Аквамикс + Альбит и Аквамикс + Спорион – соответственно 5,07 и 5,19 т/га, что соответственно на 20,1%; 18,4 и 21,3% больше, чем в контроле. Положительное действие Спорiona обусловлено тем, что он усиливает эффективность микроэлементов, которые образуют легкоусвояемые эффективные органоминеральные комплексы с бациллярными метаболитами. После внесения препарата бактерии рода *Bacillus* активно размножаются и колонизируют растительные поверхности, питаясь

растительными экссудатами, взамен снабжая растение продуктами бактериального метаболизма, такими как антибиотики, экзополисахариды, витамины и аминокислоты. Синтез ауксинов способствует стимуляции развития корневой системы, более эффективному поглощению воды и питательных веществ (URL:<https://crop.ati-don.ru/sporion>). Сильно засоренный травостой эспарцета песчаного не проявил положительной реакции на внесение регулятора роста и удобрений. В среднем по всем вариантам опыта он уступал по урожайности сортам люцерны Агния и Таисия соответственно в 1,7 и 1,8 раза (Dikareva S.A. и др., 2024).

Инокуляция семян люцерны высокоэффективными штаммами клубеньковых бактерий позволила сформировать травостой с высоким уровнем урожайности. Что касается эспарцета песчаного, то повышенный уровень кислотности оказался неблагоприятным как для высшего растения, так и для клубеньковых бактерий, поэтому он не сформировал продуктивный травостой. Это подтверждено показателями N-тестера перед проведением первого укоса в 2024 году. В вариантах с люцерной Агния и Таисия при применении Альбита и Спорiona вместе с Аквамиксом показания N-тестера составляли 760-778 единиц, что свидетельствует о хорошей обеспеченности растений азотом за счет симбиотической фиксации. Травостой эспарцета в этих вариантах имел значительно более низкие показатели – 541 и 548 ед. (Dikareva S.A. и др., 2024).

Заключение по главе 4

Люцерна изменчивая сортов Агния и Таисия, инокулированная комплементарными штаммами клубеньковых бактерий, на кислой дерново-подзолистой почве с pH_{KCl} 4,52 на второй год жизни сформировали продуктивные травостои с урожайностью 6,9-7,62 т/га сухого вещества. Применение регулятора роста Альбит и микробиологического удобрения Спорион с микроудобрением Аквамикс в наибольшей степени способствовало повышению густоты травостоев, снижало засоренность люцерны, и как

следствие, увеличивало урожайность в среднем за 2 года на 9,9-21,3%. В условиях повышенной кислотности почвы травостой эспарцета песчаного сорта Павловский был сильно засорен дикорастущими травами, и уступал люцерне по урожайности в 2 раза.

Устойчивость люцерны в составе агрофитоценозов в значительной степени обусловлена высокой обеспеченностью почвы фосфором. Фосфорные соединения в значительной степени связывали подвижный алюминий, тем самым снижали его отрицательное влияние на рост растений люцерны.

ГЛАВА 5. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ ТРАВ НА ПОЧВАХ РАЗНОГО УРОВНЯ ПЛОДОРОДИЯ

5.1. Химический состав люцерны на среднеокультуренной почве

Наиболее важным компонентом травяных кормов является сырой протеин. В рационах жвачных животных должно содержаться 15-16% сырого протеина. При оценке качества кормов (сена, силоса, сенажа, искусственно высушенных кормов) по ГОСТам сырой протеин, наряду с сырой клетчаткой, является одним из показателей, позволяющих определить класс качества. Бобовые травы за счет симбиоза с клубеньковыми бактериями превосходят злаки по содержанию сырого протеина. По данным различных исследований содержание протеина в люцерне обычно составляет 15-22% (Summers C.G., Putnam D.H., 2007; Suwignyo B., Rini E.A., Helmiyati S., 2023). В условиях опыта в фестулолиуме концентрация протеина варьировалась от 6,13 до 14,23% (таблица 9), что свидетельствует о том, что зеленая масса фестулолиума не всегда обеспечивает получение кормов высокого качества.

Высокий уровень протеина в люцерне первого укоса в 2023-2024 гг. – от 17,18 до 20,02% позволяет получать качественные травяные корма. В 2024 г. повышенное содержание сырого протеина отмечалось также в третьем укосе при внесении различных препаратов – 16,65-19,57%. В 2023 г. во втором укосе обеспеченность трав протеином была выше, чем в третьем, а в 2024 г., наоборот, люцерна содержала больше протеина в третьем укосе. Различия между укосами по содержанию протеина обусловлены метеорологическими условиями, складывающимися в межукосные периоды (Дикарева С.А. и др., 2024г).

В зеленой массе бобовых трав содержится меньше сырого протеина, чем в зерне бобовых культур – в сое и люпине около 40%. Даже при урожайности зерна 4 т/га эти культуры обеспечат получение не более 1,6 т/га сырого протеина. Люцерна при многоукосном использовании может давать до 2-2,8 т

протеина с 1 га (Писковацкий Ю.М. и др., 2007; Липовцына Т.П., Степанова Г.В., Золотарев В.Н., 2013).

Таблица 9 – Содержание сырого протеина в зеленой массе люцерны и фестулолиума, % от сухого вещества (2023 год/2024 год)

Вариант	1-ый укос	2-ой укос	3-ий укос
Фестулолиум сорт Фест			
	12,21/14,23	6,13/10,80	8,94/12,77
Люцерна изменчивая сорт Агния			
Контроль	17,89/19,49	16,87/16,56	14,15/18,56
Альбит	18,29/19,39	17,83/16,63	13,55/17,37
Спорион	18,23/18,97	16,93/16,29	14,94/18,26
Молибдат аммония	18,52/19,76	16,31/15,94	13,91/16,65
Люцерна изменчивая сорт Таисия			
Контроль	18,91/19,94	16,47/16,12	13,45/16,47
Альбит	17,18/18,11	15,98/15,39	15,69/19,57
Спорион	19,08/20,02	16,08/16,15	14,26/17,93
Молибдат аммония	18,66/19,62	17,45/16,83	14,35/16,99
Люцерна желтая сорт Нижегородская			
Контроль	17,60/19,23	15,32/16,16	15,35/15,78
Альбит	17,41/18,73	17,44/17,33	16,69/19,72
Спорион	18,38/18,48	15,60/18,17	15,22/19,61
Молибдат аммония	18,25/19,14	16,28/16,43	15,70/17,69
НСР ₀₅	0,32/0,21	0,83/0,68	0,31/0,71

В наших исследованиях на третий год жизни в урожай люцерны накапливалось 1564-1778 кг сырого протеина (таблица 10), а в среднем за три года этот показатель составил 1106-1238 кг/га. Отмечалась тенденция повышения сбора протеина при внесении как регулятора роста, так и удобрений. Наиболее действенное влияние на сбор протеина оказало фолиарное применение молибдата аммония в дозе 100 г/га под каждый укос. Люцерна Нижегородская увеличила выход протеина на 11,2% и люцерна Агния – на 8%, соответственно до 1230 и 1238 кг/га (Дикарева С.А. и др., 2024г).

В среднем по всем вариантам различия между сортами люцерны по выходу протеина с урожаем были несущественными.

Таблица 10 – Сбор сырого протеина с урожаем люцерны и фестулолиума, кг/га сухого вещества

Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.	В среднем
Фестулолиум сорт Фест				
	57	303	379	246
Люцерна изменчивая сорт Агния				
Контроль	506	1318	1613	1146
Альбит	441	1366	1703	1170
Спорион	518	1369	1778	1222
Молибдат аммония	577	1401	1735	1238
Люцерна изменчивая сорт Таисия				
Контроль	441	1357	1710	1169
Альбит	536	1304	1782	1207
Спорион	555	1330	1740	1208
Молибдат аммония	512	1395	1724	1210
Люцерна желтая сорт Нижегородская				
Контроль	443	1312	1564	1106
Альбит	509	1285	1623	1139
Спорион	562	1298	1628	1163
Молибдат аммония	525	1453	1712	1230
НСР ₀₅	49	71	88	52

Показатель сырой клетчатки используется для расчета питательности кормов, для оценки их качества по стандартам. В состав сырой клетчатки кроме целлюлозы входят гемицеллюлоза, лигнин, пектин и некоторые другие вещества. Особенностью люцерны является повышенная концентрация клетчатки за счет лигнификации ее стеблей. Так, даже при использовании люцерны в качестве зеленого корма согласно стандарту, допускается до 30% клетчатки.

Скашивание люцерны в первом укосе в ранние сроки позволило получить зеленые корма с содержанием сырой клетчатки на уровне 26,96-29,54% (таблица 11). Третий укос как в 2003, так и 2004 гг. формировался при дефиците влаги и повышенных температурах, что ускоряло развитие трав и способствовало повышению содержания сырой клетчатки, но оно не превышало 31,95%. Регулятор роста Альбит и удобрения (Спорион и молибдат аммония) не оказали какого-либо закономерного влияния на содержание сырой клетчатки в люцерне (Дикарева С.А. и др., 2024г.).

Таблица 11 – Содержание сырой клетчатки в зеленой массе люцерны и фестулолима, % от сухого вещества (2023 год/2024 год)

Вариант	1-ый укос	2-ой укос	3-ий укос
Фестулолиум сорт Фест			
	25,11/25,24	28,71/31,25	29,52/27,39
Люцерна изменчивая сорт Агния			
Контроль	27,79/27,04	28,11/30,59	30,76/29,56
Альбит	27,27/29,05	28,25/31,35	30,88/30,25
Спорион	28,36/27,92	28,34/31,12	31,93/29,40
Молибдат аммония	26,96/28,16	28,43/30,50	30,99/30,07
Люцерна изменчивая сорт Таисия			
Контроль	27,11/28,58	28,38/30,73	31,95/30,72
Альбит	27,21/27,65	29,37/31,27	29,93/30,29
Спорион	28,08/29,38	28,32/31,20	31,73/31,47
Молибдат аммония	28,51/29,54	27,68/29,61	30,75/30,34
Люцерна желтая сорт Нижегородская			
Контроль	27,32/29,10	30,04/30,78	30,13/29,72
Альбит	28,67/29,44	28,99/29,51	29,53/30,05
Спорион	28,68/27,84	30,41/30,55	30,27/29,37
Молибдат аммония	28,66/29,45	28,48/29,51	29,14/30,05
НСР ₀₅	0,35/0,23	0,33/0,83	0,77/0,96

Из необходимых макроэлементов в теле животных наибольшая доля приходится на кальций и фосфор – соответственно 3,5-4% и 1,9-2,5% в пересчете на сухую ткань (Кормление животных, 2011).

Оптимальные диапазоны содержания калия, кальция и магния в кормах с лугов составляют 1,7–2%; 0,7% и 0,2% от сухого вещества соответственно (Jankowska-Huflejt H., Wróbel B., 2008). В наибольшей степени потребности животных в этих элементах питания обеспечивала люцерна по сравнению с фестулолиумом.

По данным различных исследователей содержание кальция в люцерне может изменяться в широких пределах – от 1,55 до 1,89% (Smith D., 1969) и от 0,88 до 1,08% (Karayilanli E., Ayhan V., 2016), и даже достигать уровня 2,33% (Tongel M.O., Ayan I., 2010).

В наших исследованиях концентрация кальция в люцерне по укосам изменялась от 1,20 до 1,82%, что больше в 1,3-3,7 раза, чем в фестулолиуме

(таблица 12). Травы третьего года жизни накапливали больше кальция в первом и третьем укосах, чем травы второго года жизни.

Таблица 12 – Содержание кальция в зеленой массе люцерны и фестулолиума, % от сухого вещества (2023 год/2024 год)

Вариант	1-ый укос	2-ой укос	3-ий укос
Фестулолиум сорт Фест			
	0,87/1,00	0,54/0,74	0,9/0,94
Люцерна изменчивая сорт Агния			
Контроль	1,35/1,56	1,49/1,41	1,33/1,54
Альбит	1,44/1,82	1,51/1,33	1,26/1,46
Спорион	1,37/1,51	1,42/1,21	1,25/1,47
Молибдат аммония	1,40/1,72	1,34/1,23	1,20/1,47
Люцерна изменчивая сорт Таисия			
Контроль	1,39/1,61	1,40/1,24	1,30/1,42
Альбит	1,34/1,53	1,26/1,24	1,43/1,75
Спорион	1,38/1,69	1,35/1,22	1,32/1,79
Молибдат аммония	1,33/1,65	1,39/1,28	1,26/1,43
Люцерна желтая сорт Нижегородская			
Контроль	1,27/1,61	1,40/1,33	1,36/1,57
Альбит	1,36/1,65	1,26/1,34	1,38/1,52
Спорион	1,38/1,60	1,43/1,48	1,28/1,57
Молибдат аммония	1,31/1,53	1,33/1,32	1,31/1,48
НСР ₀₅	0,09/0,03	0,08/0,03	0,13/0,04

Содержание фосфора в люцерне не было подвержено значительным изменениям по вариантам опыта. Оно варьировалось в пределах от 0,33 до 0,45% (таблица 13), и полностью удовлетворяло потребности жвачных животных в этом элементе. Злаки и бобовые травы обычно существенно не различаются по содержанию фосфора. В условиях опыта в фестулолиуме содержалось на 0,01-0,16 абс. % меньше фосфора, чем в люцерне.

Травяные корма нередко характеризуются низким содержанием фосфора – менее 0,3% от сухой массы. Это отмечается на почвах с низкой обеспеченностью подвижным фосфором. В условиях опыта почва содержала 304 мг/кг подвижного фосфора, что соответствует очень высокой степени обеспеченности этим элементом. Такой уровень подвижных фосфатов обеспечивал получение травяных кормов, удовлетворяющих потребности

животных в фосфоре без дополнительного внесения фосфорных удобрений (Дикарева С.А. и др., 2024г).

Таблица 13 – Содержание фосфора в зеленой массе люцерны и фестулолиума, % от сухого вещества (2023 год/2024 год)

Вариант	1-ый укос	2-ой укос	3-ий укос
Фестулолиум сорт Фест			
	0,27/0,28	0,25/0,34	0,28/0,33
Люцерна изменчивая сорт Агния			
Контроль	0,40/0,40	0,35/0,37	0,37/0,43
Альбит	0,41/0,39	0,39/0,39	0,33/0,41
Спорион	0,43/0,42	0,38/0,35	0,34/0,39
Молибдат аммония	0,40/0,39	0,36/0,36	0,34/0,37
Люцерна изменчивая сорт Таисия			
Контроль	0,42/0,43	0,39/0,38	0,35/0,39
Альбит	0,41/0,39	0,35/0,38	0,35/0,40
Спорион	0,41/0,44	0,35/0,38	0,33/0,34
Молибдат аммония	0,40/0,43	0,37/0,37	0,33/0,39
Люцерна желтая сорт Нижегородская			
Контроль	0,35/0,42	0,33/0,39	0,37/0,34
Альбит	0,39/0,40	0,40/0,38	0,36/0,45
Спорион	0,40/0,41	0,36/0,37	0,34/0,44
Молибдат аммония	0,39/0,40	0,37/0,37	0,34/0,38
НСР ₀₅	0,02/0,02	0,04/0,01	0,06/0,02

Из литературных источников известно, что среди элементов питания фосфор оказывает наибольшее влияние на продуктивность люцерны. При долголетнем использовании люцерны нужно учитывать возможность повышения кислотности почвы из-за большого выноса кальция с урожаем. При pH ниже 3,8-4,5 образуются нерастворимые фосфаты железа (FePO_4), а при pH менее 4,8-5,0 осаждаются фосфаты алюминия. Таким образом, на кислых почвах доступность фосфора растениям заметно снижается вследствие образования нерастворимых соединений фосфора (Кидин В.В., 2012).

Важным показателям качества кормов, наряду с протеиновой и минеральной питательностью, является содержание обменной энергии, которая показывает какая часть валовой энергии идет на поддержание жизни и производство продукции. Травяные корма с содержанием в 1 кг сухого

вещества 10-14 МДж обменной энергии считается первоклассными, 9-10 МДж – хорошими, 8-9 МДж – посредственными и менее 8 МДж – плохими. Энергетическая питательность рассчитывалась по уравнениям регрессии на основе содержания в кормах сырого протеина, сырой клетчатки, сырого жира и БЭВ, а также их коэффициентов переваримости.

Согласно ГОСТ Р 55452-2021 сено и сенаж первого класса из бобовых трав должны содержать соответственно не менее 9,2 и 9,6 МДж обменной энергии в 1 кг сухого вещества. В условиях опыта концентрация обменной энергии в люцерне изменялось от 9,84 до 10,15 МДж, а в фестулолиуме – от 9,70 до 10,10 МДж/кг СВ (таблица 14).

Таблица 14 – Содержание обменной энергии в зеленой массе люцерны и фестулолиума, МДж/кг СВ

Вариант	2022 г.	2023 г.			2024 г.		
	Укосы						
	1-ый	1-ый	2-ой	3-ий	1-ый	2-ой	3-ий
Фестулолиум сорт Фест							
	10,10	9,98	9,85	9,70	9,94	9,78	9,79
Люцерна изменчивая сорт Агния							
Контроль	10,03	10,03	10,09	9,94	9,97	9,93	9,92
Альбит	9,94	10,08	10,07	9,93	10,04	9,92	9,88
Спорион	10,05	10,01	10,07	9,89	9,93	10,03	9,93
Молибдат аммония	10,01	10,08	10,09	9,96	10,02	9,99	10,00
Люцерна изменчивая сорт Таисия							
Контроль	9,95	10,08	10,07	9,91	9,87	9,93	9,87
Альбит	10,03	10,05	9,98	9,99	9,95	9,95	9,93
Спорион	10,01	10,04	10,04	9,91	9,93	9,91	10,04
Молибдат аммония	10,12	10,01	10,15	9,95	9,85	9,94	9,87
Люсерна желтая сорт Нижегородская							
Контроль	9,93	9,99	9,94	9,96	9,86	9,87	10,00
Альбит	9,96	9,98	10,03	10,02	9,91	9,89	9,85
Спорион	10,03	9,98	9,96	9,95	9,86	9,96	9,84
Молибдат аммония	10,15	10,01	10,09	10,03	9,90	9,98	9,96

Из зеленой массы люцерны и фестулолиума при оптимизации технологий приготовления сена и сенажа можно получить корма первого класса качества по содержанию обменной энергии. В среднем за три года содержание обменной

энергии в люцерне изменялось от 9,94 до 10,02 МДж, и различия между вариантами были незначительными.

5.2. Накопление симбиотического азота в урожае люцерны на среднекультуренной почве

Многолетние бобовые травы значительно превосходят зерновые бобовые культуры по накоплению биологического азота как в надземной, так и в корневой массе. Это обусловлено тем, что они имеют более мощную корневую систему, формирующуюся в течение более длительного вегетационного периода. Получение трех укосов за один сезон позволяет растениям находиться в течение всего вегетационного периода в состоянии активного роста и симбиоза с клубеньковыми бактериями. После скашивания часть клубеньков на корнях растений отмирает, а затем при возобновлении отрастания формируются новые клубеньки.

Размеры симбиотической азотфиксации бобовыми растениями могут достигать 150-550 кг/га (Завалин А.А., 2019). Люцерна по этому показателю не уступает по активности симбиоза другим бобовым растениям. В первый год жизни она сформировала только один укос, в урожае которого содержалось от 40,1 до 54,3 кг/га биологического азота (рисунок 12, приложение 26).

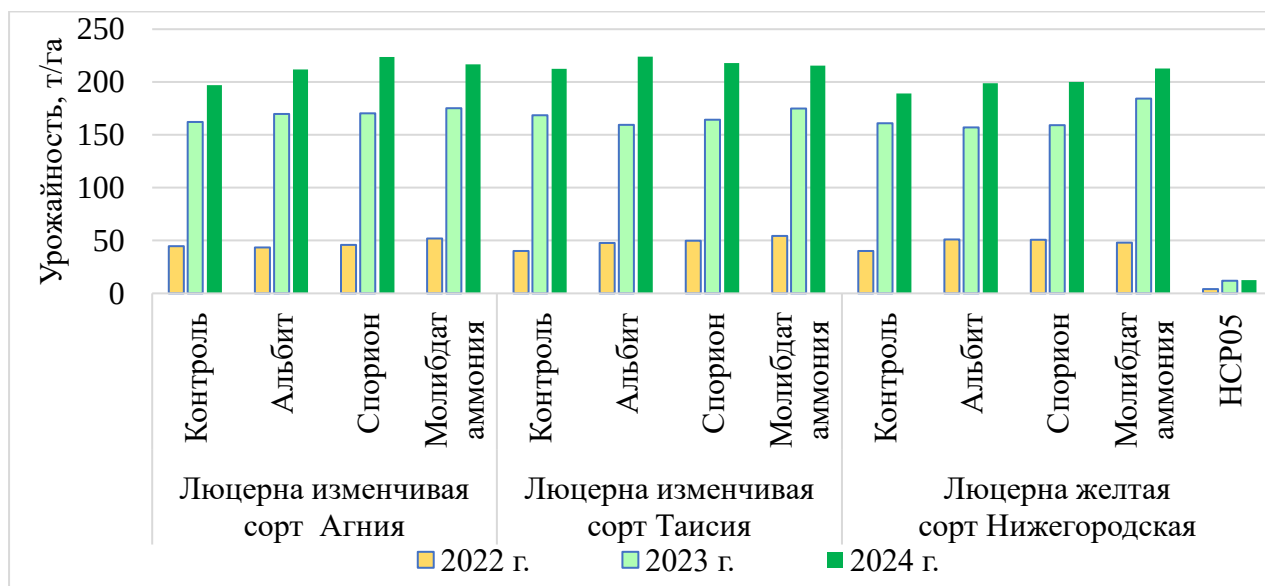


Рисунок 12 – Количество симбиотического азота в урожае люцерны, кг/га

На второй год жизни накопление биологического азота возросло до 156,9-184,2 кг/га. На третий год в урожае трех укосов содержалось 189,2-224,1 кг/га. Обобщенные данные других исследований показывают, что в России в среднем за год люцерны при помощи клубеньковых бактерий фиксирует на орошаемых землях 250-300 кг/га азота атмосферы и 180-200 кг/га – на неполивных землях, а в теплых странах за 6-7 укосов симбиотическая азотфиксация может достигать 800-1000 кг/га (Кидин В.В., 2012).

В среднем за три года исследований люцерны Агния, Таисия и Нижегородская наиболее положительно реагировали на внесение молибдата аммония, увеличив фиксацию атмосферного азота соответственно на 9,9; 5,6 и 14,0%. Прослеживалась тенденция более высокого накопления азота в люцерне изменчивой по сравнению с люцерной желтой.

5.3. Химический состав люцерны и эспарцета на слабоокультуренной почве

В первый год жизни агрофитоценозы формировались в неблагоприятных условиях и содержание сырого протеина в люцерне варьировалось от 10,28 до 14,3%, а в эспарцете – от 7,86 до 11,79% (таблица 15).

Это также было обусловлено тем, что травостой имели в своем составе от 27,1 до 46,3% однолетних дикорастущих трав, среди которых преобладал ежовник обыкновенный (куриное просо). Подкашивание сорных трав на высоком срезе позволило уменьшить долю сорных компонентов в ботаническом составе травостоев и предотвратить их обсеменение, однако полностью элиминировать их из травостоев не удалось, что отрицательно сказалось на качестве получаемого зеленого корма.

Повышенная концентрация сырой клетчатки – от 29,14 до 32,42%, также в значительной степени была обусловлена наличием в урожае оснований подкошенных генеративных побегов ежовника обыкновенного. Травостой эспарцета накапливал меньше, чем люцерна фосфора, фестулолиум уступал и

люцерне, и эспарцету по содержанию сырого протеина, сырого жира, кальция и фосфора.

Таблица 15 – Химический состав трав в 2023 году в опыте 2, в % от сухого вещества

Вариант	Сырой протеин	Сырая клетчатка	Сырой жир	Сырая зола	Са	Р
Фестулолиум сорт Фест						
	6,39	31,31	1,69	8,43	0,76	0,27
Люцерна изменчивая сорт Агния						
Контроль	12,51	32,42	2,03	7,27	1,22	0,33
Альбит	12,05	30,29	1,81	7,20	1,20	0,31
Спорион	12,13	30,63	1,92	7,62	1,25	0,32
Аквамикс	12,29	31,29	1,97	6,99	1,27	0,30
Аквамикс + Альбит	14,04	30,11	1,94	7,55	1,21	0,36
Аквамикс + Спорион	12,84	30,94	1,98	7,48	1,25	0,33
Люцерна изменчивая сорт Таисия						
Контроль	10,28	30,81	1,83	7,37	0,81	0,33
Альбит	13,37	31,30	1,85	7,27	1,33	0,33
Спорион	10,91	31,11	1,89	7,50	1,06	0,31
Аквамикс	14,30	29,89	1,79	7,36	1,24	0,35
Аквамикс + Альбит	12,47	31,58	1,95	7,43	1,13	0,33
Аквамикс + Спорион	11,79	29,14	1,95	6,99	1,20	0,27
Эспарцет песчаный сорт Павловский						
Контроль	7,86	31,82	1,71	7,70	0,79	0,29
Альбит	11,38	29,84	1,85	7,18	1,22	0,26
Спорион	10,56	29,81	1,77	7,22	1,12	0,28
Аквамикс	11,25	29,63	1,68	7,05	1,22	0,28
Аквамикс + Альбит	11,63	29,90	1,71	7,06	1,12	0,29
Аквамикс + Спорион	11,79	29,14	1,95	6,99	1,20	0,27
НСР ₀₅	0,36	0,54	0,06	0,21	0,04	0,03

При выращивании на сильнокислой почве люцерна характеризовалась более низким содержанием сырого протеина, чем в опыте 1, где почва имела слабокислую реакцию (таблица 16).

Таблица 16 – Химический состав трав в 2024 году в 1-ом укосе в опыте 2,
в % от сухого вещества

Вариант	Сырой протеин	Сырая клетчатка	Сырой жир	Сырая зола	Са	Р
Фестулолиум сорт Фест						
	8,72	31,19	1,43	6,29	0,92	0,25
Люцерна изменчивая сорт Агния						
Контроль	12,27	31,81	1,78	7,17	1,27	0,32
Альбит	14,54	30,27	2,00	7,93	1,44	0,33
Спорион	12,74	30,74	1,57	7,62	1,41	0,29
Аквамикс	12,42	30,75	1,79	7,35	1,37	0,32
Аквамикс + Альбит	13,96	29,59	2,29	7,47	1,35	0,30
Аквамикс + Спорион	12,89	31,42	1,98	7,49	1,33	0,31
Люцерна изменчивая сорт Таисия						
Контроль	13,06	30,35	2,11	7,38	1,37	0,31
Альбит	12,51	31,15	1,87	7,79	1,41	0,28
Спорион	12,50	30,29	1,90	7,31	1,28	0,30
Аквамикс	12,37	31,17	1,91	7,96	1,39	0,31
Аквамикс + Альбит	12,22	30,26	2,01	7,69	1,39	0,30
Аквамикс + Спорион	13,16	30,07	1,59	6,93	1,36	0,30
Эспарцет песчаный сорт Павловский						
Контроль	12,11	28,99	1,73	6,47	1,19	0,30
Альбит	10,27	30,36	1,35	6,83	1,24	0,24
Спорион	11,89	29,06	1,76	7,11	1,25	0,27
Аквамикс	12,39	29,11	1,54	7,29	1,29	0,26
Аквамикс + Альбит	10,66	29,22	1,73	6,62	1,21	0,23
Аквамикс + Спорион	10,28	31,09	1,43	5,58	1,14	0,24
НСР ₀₅	1,30	1,05	0,14	0,59	0,08	0,04

На второй год жизни в первом укосе концентрация сырого протеина в сухом веществе зеленой массы люцерны варьировалась от 12,22 до 14,54%. Очень низкая обеспеченность калием также, несомненно, оказала влияние на накопление этого важного компонента корма.

Во втором укосе содержание сырого протеина возросло до 13,09-16,43% (таблица 17). В люцерне сорта Таисия содержание сырого протеина повышалось под действие различных препаратов на 1,31-3,34 абс. %.

Таблица 17 – Химический состав трав в 2024 году во 2-ом укосе в опыте 2, в % от сухого вещества

Вариант	Сырой протеин	Сырая клетчатка	Сырой жир	Сырая зола	Са	Р
Фестулолиум сорт Фест						
	11,44	32,33	1,50	7,78	1,14	0,33
Люцерна изменчивая сорт Агния						
Контроль	13,85	32,06	1,79	7,95	1,21	0,38
Альбит	14,98	30,40	2,29	8,52	1,33	0,37
Спорион	14,49	31,43	2,20	8,69	1,31	0,38
Аквамикс	13,98	31,94	1,92	8,17	1,21	0,39
Аквамикс + Альбит	14,79	31,72	2,00	8,67	1,28	0,39
Аквамикс + Спорион	13,86	31,27	2,02	8,59	1,32	0,34
Люцерна изменчивая сорт Таисия						
Контроль	13,09	31,94	2,13	7,82	1,26	0,33
Альбит	16,43	30,25	2,38	8,52	1,25	0,41
Спорион	14,71	31,12	1,98	8,53	1,29	0,39
Аквамикс	15,39	30,54	2,18	8,75	1,31	0,39
Аквамикс + Альбит	14,70	31,28	2,14	8,59	1,29	0,38
Аквамикс + Спорион	15,05	30,37	2,35	8,43	1,37	0,34
Эспарцет песчаный сорт Павловский						
Контроль	13,11	28,44	1,78	7,71	1,27	0,31
Альбит	12,20	29,01	1,87	7,60	1,25	0,29
Спорион	14,11	28,94	1,78	8,26	1,31	0,36
Аквамикс	14,06	29,93	2,29	7,80	1,24	0,33
Аквамикс + Альбит	11,63	29,97	1,69	7,76	1,39	0,27
Аквамикс + Спорион	12,28	30,08	1,70	7,15	1,23	0,32
НСР ₀₅	1,07	1,02	0,13	0,25	0,08	0,4

В третьем укосе содержание сырого протеина в люцерне снизилось до 12,73-14,74% (таблица 18), но в большинстве вариантов оно было больше, чем в первом укосе.

Травы в вариантах с эспарцетом во всех трех укосах уступали по концентрации сырого протеина люцерне. Его содержание изменялось от 8,06-10,89% (третий укос) до 11,63-14,11% (второй укос). Это указывает на то, что кислая реакция среды более отрицательно сказывалась на эспарцете. Кроме того, в травостое эспарцета существенную долю занимали дикорастущие травы, не обладающие способностью фиксировать атмосферный азот.

Таблица 18 – Химический состав трав в 2024 году в 3-ем укосе в опыте 2,
в % от сухого вещества

Вариант	Сырой протеин	Сырая клетчатка	Сырой жир	Сырая зола	Са	Р
Фестулолиум сорт Фест						
	7,87	30,38	2,34	9,08	0,87	0,28
Люцерна изменчивая сорт Агния						
Контроль	14,53	28,96	1,97	6,91	1,31	0,33
Альбит	13,91	29,60	2,08	6,65	1,23	0,32
Спорион	13,12	29,68	2,06	6,43	1,33	0,29
Аквамикс	13,79	29,41	2,43	6,76	1,32	0,28
Аквамикс + Альбит	14,74	28,29	2,01	7,08	1,33	0,34
Аквамикс + Спорион	12,73	29,88	2,10	6,65	1,35	0,27
Люцерна изменчивая сорт Таисия						
Контроль	13,71	28,79	1,97	6,84	1,32	0,31
Альбит	13,18	29,25	2,06	6,49	1,24	0,30
Спорион	13,07	29,31	2,04	6,73	1,41	0,27
Аквамикс	14,71	28,36	2,17	6,55	1,29	0,34
Аквамикс + Альбит	14,16	28,95	2,32	6,66	1,18	0,34
Аквамикс + Спорион	14,25	28,92	1,87	6,50	1,36	0,33
Эспарцет песчаный сорт Павловский						
Контроль	10,30	27,82	1,19	5,86	1,20	0,24
Альбит	8,06	30,76	1,17	4,47	1,01	0,20
Спорион	10,89	28,67	1,30	5,90	1,22	0,24
Аквамикс	10,69	28,21	1,44	5,89	1,29	0,23
Аквамикс + Альбит	10,46	28,64	1,41	5,96	1,23	0,24
Аквамикс + Спорион	9,82	27,83	1,13	6,04	1,29	0,24
НСР ₀₅	0,95	0,73	0,12	0,21	0,12	0,03

Без внесения минерального азота фестулолиум давал корма, плохо обеспеченные сырым протеином. Его содержание в 1, 2 и 3-ем укосах составляло соответственно 8,22; 11,44 и 7,87%.

Сравнение люцерны с небобовой культурой (фестулолиумом) показывает, что даже на сильнокислой почве люцерна аккумулировала большую часть азота за счет симбиотической азотфиксации.

Особенностью химического состава люцерны является повышенное содержание лигнина, входящего в состав сырой клетчатки. По нормам

ГОСТа Р 56912-2016 Корма зеленые в люцерне допускает более высокий уровень клетчатки – 30%, в то время как в других сеяных многолетних травах её ложно быть не более 26-27%. Несмотря на интенсивное трехкратное использование травостоев, концентрация сырой клетчатки в сухом веществе люцерны в 1 и 2-ом укосах нередко превышала этот уровень и составляла 29,59-32,06%. Клетчатка является структурным элементом растений и её значительно больше содержится в стеблях. В третьем укосе люцерны сформировала менее высокие побеги, поэтому содержание сырой клетчатки снизилось до 28,36-29,88%.

В среднем за три укоса в варианте с эспарцетом накапливалось несколько меньше клетчатки за счет участия в сложении растительного сообщества несеяных видов трав. Четкого влияния регулятора роста и удобрений на содержание сырой клетчатки в корме не выявлено.

В фестулолиуме количество сырой клетчатки во всех трех укосах превышало 30% уровень и составляло 30,38-32,33%.

В состав сырого жира входят глицериды жирных кислот, хлорофилл, каротиноиды, стероиды, стеарины, воск и в небольшом количестве другие вещества. В сухом веществе трав обычно содержится 2,5-3,0% сырого жира, а в сене его количество снижается до 1,3-1,5% (Кормление животных, 2011). В условиях опыта в люцерне первого укоса содержалось 1,57-2,11% сырого жира, что меньше, чем во втором и третьем укосах – соответственно 1,79-2,38% и 1,87-2,43%. Невысокий уровень содержания сырого жира обусловлен потерями некоторых компонентов сырого жира в процессе высушивания трав до воздушно-сухого состояния.

При зоотехническом анализе сырую золу определяют с целью последующего расчета количества безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) и для оценки качества различных видов кормов по стандартам, где высокий уровень этого показателя (для сена более 12%) указывает на сильную загрязненность корма. Содержание сырой золы в люцерне изменялось по

укосам от 6,50 до 8,75%. Во втором укосе некорневое внесение препаратов способствовало увеличению содержания сырой золы в люцерне на 0,42-0,93 абс. %. В травах других укосах закономерного изменения количества сырой золы в зависимости от внесенного препарата не выявлено.

Травостой в варианте с эспарцетом во всех укосах характеризовался меньшим содержанием сырой золы, чем люцерна, а фестулолиум – в первом и втором укосах.

Огромная роль в минеральном питании животных принадлежит кальцию и фосфору. Именно этих двух макроэлементов больше всего содержится в теле животного (Кормление животных, 2011). В кормах должно содержаться не менее 0,75% кальция и 0,3% фосфора.

Как люцерна, так и эспарцет характеризовались высоким содержанием кальция – соответственно 0,81-1,44% и 0,79-1,39%.

Травяные корма нередко бывают дефицитными по содержанию фосфора из-за недостаточной обеспеченности почв этим элементом, слабой подвижности поверхностно внесенных удобрений, засушливых условий. Почва опытного участка имела очень высокую обеспеченность подвижным фосфором, поэтому люцерна практически во всех вариантах имела достаточное количество этого макроэлемента – 0,27-0,41%. В эспарцете в третьем укосе аккумулировалось недостаточное количество фосфора – 0,20-0,24%. В исследованиях других ученых содержание фосфора в люцерне варьировалось от 0,24 до 0,34 (Collins M., Taylor T.H., 1980) и от 0,21 до 0,25% от сухой массы (Karayilanli E., Ayhan V., 2016). Эти показатели согласуются с данными, полученными в наших опытах.

На сильнокислой почве содержание обменной энергии в люцерне в первый год жизни и во второй год в первом и втором укосах было несколько меньше, чем на почве с меньшей кислотностью – 9,76-9,98 МДж, а в третьем укосе оно возросло до 10,03-10,15 МДж/кг СВ (таблица 19).

Таблица 19 – Содержание обменной энергии в зеленой массе трав на
сильнокислой почве в опыте 2, МДж/кг СВ

Вариант	2023 г.	2024 г.		
	1-ый укос	1-ый укос	2-ой укос	3-ий укос
Фестулолиум сорт Фест				
	9,60	9,91	9,74	9,62
Люцерна изменчивая сорт Агния				
Контроль	9,84	9,87	9,80	10,07
Альбит	9,92	9,90	9,85	10,07
Спорион	9,86	9,86	9,77	10,06
Аквамикс	9,92	9,89	9,79	10,07
Аквамикс + Альбит	9,94	9,98	9,76	10,09
Аквамикс + Спорион	9,88	9,87	9,77	10,03
Люцерна изменчивая сорт Таисия				
Контроль	9,84	9,93	9,81	10,07
Альбит	9,90	9,83	9,89	10,08
Спорион	9,83	9,92	9,80	10,05
Аквамикс	9,97	9,81	9,82	10,15
Аквамикс + Альбит	9,85	9,88	9,79	10,11
Аквамикс + Спорион	9,99	9,98	9,86	10,11
Эспарцет песчаный сорт Павловский				
Контроль	9,70	10,06	9,96	10,12
Альбит	9,93	9,90	9,93	10,10
Спорион	9,90	9,98	9,90	10,09
Аквамикс	9,94	9,96	9,93	10,11
Аквамикс + Альбит	9,94	10,00	9,85	10,08
Аквамикс + Спорион	9,99	10,02	9,94	10,08

Эспарцет песчаный не уступал люцерне по этому показателю, а в фестулолиуме концентрация обменной энергии по годам и укосам изменялась от 9,6 до 9,91 МДж/кг СВ.

В опыте, выполненном в Австралии, в различных сортах люцерны содержание обменной энергии варьировалось от 9,34 до 10,75 МДж/кг СВ и положительно коррелировало с содержанием сырого протеина, концентрация

которого изменялась от 18 до 23% (Norman H.C. et al., 2013). В наших исследованиях различия между сортами по содержанию сырого протеина и сырой клетчатки были не столь значительными, поэтому сорта люцерны Агния и Таисия были близкими по энергетической ценности.

В целом уровень энергетической питательности зеленой массы люцерны, эспарцета и фестулолиума позволяет получать корма высокого качества.

5.4. Симбиотическая фиксация азота люцерной и эспарцетом на слабоокультуренной почве

Растения семейства бобовые являются единственными во флоре, способными вступать в симбиоз с клубеньковыми бактериями. При симбиозе бактерии переводят атмосферный азот в аммонийный, и передают его высшим растениям, которые в свою очередь обеспечивают бактерии углеводами. Люцерна наряду с козлятником восточным является одним из наиболее эффективных азотфиксаторов, способных накапливать в год в зоне умеренного климата около 300 кг/га азота, а в тропических странах, где люцерна может обеспечить 10-12 укосов – до 1000 и более кг/га. Однако, на активность бобово-ризобияльного симбиоза сильное влияние оказывают кислотность и влажность почвы, обеспеченность такими микроэлементами как молибден, бор и кобальт (Жуйков Д.В., 2020). Считается, что клубеньковые бактерии более чувствительны к кислой реакции среды, чем растения люцерны (Mendoza-Soto A.B. et al., 2015).

Использование кислотоустойчивых сортов люцерны Таисия и Агния показало, что на сильнокислой дерново-подзолистой почве с pH_{KCl} 4,52 эти сорта сформировали продуктивные агрофитоценозы, способные обеспечивать свои потребности за счет биологически фиксированного азота. В первый год получен всего один укос, поэтому количество симбиотического азота в надземной массе было невысоким – 27,6-49 кг/га (таблица 20).

Таблица 20 – Количество симбиотически фиксированного азота в урожае люцерны и эспарцета, кг/га

Вариант	Первый год жизни	Второй год жизни	Сумма за два года
Люцерна изменчивая сорт Агния			
Контроль	38,7	83,1	121,8
Альбит	37,1	96,4	133,5
Спорион	38,3	89,3	127,6
Аквамикс	38,5	98,2	136,7
Аквамикс + Альбит	45,8	110,2	156,0
Аквамикс + Спорион	44,9	113,8	158,7
Люцерна изменчивая сорт Таисия			
Контроль	27,6	82,1	109,7
Альбит	43,0	113,0	156,0
Спорион	34,2	93,1	127,3
Аквамикс	49,0	105,8	154,8
Аквамикс + Альбит	40,1	115,7	155,8
Аквамикс + Спорион	39,3	125,1	164,4
Эспарцет песчаный сорт Павловский			
Контроль	6,9	24,7	31,6
Альбит	18,0	20,2	38,2
Спорион	15,5	26,9	42,4
Аквамикс	16,6	29,2	45,8
Аквамикс + Альбит	20,8	21,1	41,9
Аквамикс + Спорион	18,7	18,6	37,3
НСР ₀₅	5,2	9,9	12,5

На второй год за три укоса в урожае люцерны на фиксированный азот воздуха приходилось от 82,1 до 125,1 кг/га. Наиболее положительно на процесс фиксации азота оказало совместное применение концентрированного микроудобрения Аквамикс в сочетании с регулятором роста Альбит и микробиологическим препаратом Спорион. Так, сорт Таисия увеличил потребление симбиотического азота соответственно на 40,9 и 52,3%.

Положительное действие Аквамикса обусловлено в первую очередь наличием в нем молибдена, входящего в состав мультифермента нитрогеназа, осуществляющего фиксацию атмосферного азота. Кроме того, процесс азотфиксации зависит от обеспеченности кобальтом и бором, которые также входили в состав Аквамикса в количестве соответственно 1,3 и 7,65%. Почва

опытного участка характеризовалась низкой обеспеченностью подвижным молибденом – 0,12 мг/кг и бором – 0,25 мг/кг. По этой причине препарат Аквамикс проявил наибольшую эффективность.

В сумме за два года внесение одного Аквамикса, а также в смеси с Альбитом и Спорионом увеличивало потребление биологически фиксированного азота люцерной сорта Агния соответственно на 12,2; 28,1 и 30,3%, и сортом Таисия – на 41,1; 42,0 и 49,9%.

Эспарцет также увеличивал накопление фиксированного азота при некорневой подкормке различными препаратами на 18-44,9%, но общее количество потребленного симбиотического азота за два года было невысоким – всего 31,6-45,8 кг/га.

Полевые измерения обеспеченности трав азотом с использованием N-тестера показали, что показатели прибора изменялись в широких пределах и для люцерны они варьировались от 703 до 778 единиц и для эспарцета – от 487 до 548 ед. (таблица 21). В вариантах с люцерной Агния и Таисия при применении Аквамикса с Альбитом и Спорионом N-тестера составляли 760-778 единиц, что свидетельствует о хорошей обеспеченности растений азотом за счет симбиотической фиксации.

Таблица 21 – Показатели N-тестера (ед.) на травостоях люцерны и эспарцета перед проведением первого укоса в 2024 году

Вариант	Люцерна изменчивая сорт Агния	Люцерна изменчивая сорт Таисия	Эспарцет песчаный сорт Павловский
Контроль	712	703	525
Альбит	739	762	510
Спорион	747	731	487
Аквамикс	709	744	497
Аквамикс + Альбит	776	775	541
Аквамикс + Спорион	760	778	548
НСР ₀₅	46		

Что касается эспарцета песчаного, то повышенный уровень кислотности оказался неблагоприятным как для высшего растения, так и для клубеньковых

бактерий, поэтому фиксация азота была менее эффективной по сравнению с люцерной. Показатель N-тестера на фестулолиуме составил всего 235 ед. Это еще раз показывает, что на дерново-подзолистых почвах злаковые травы требуют внесения азотных удобрений.

Заключение по главе 5

При возделывании люцерны на среднеоккультуренной дерново-подзолистой почве сорта люцерны Агния и Таисия, а также сорт люцерны желтой Нижегородская характеризовались высоким содержанием сырого протеина (13,45-20,02%), кальция (1,21-1,82%), фосфора (0,33-0,44%) и обменной энергии (9,84-10,15 МДж/кг СВ). Наиболее действенное влияние на сбор протеина оказало foliarное применение молибдата аммония в дозе 100 г/га под каждый укос. Люцерна Нижегородская увеличила выход протеина на 11,2% и люцерна Агния – на 8%, соответственно до 1230 и 1238 кг/га.

Все сорта люцерны характеризовались высоким уровнем фиксации атмосферного азота. На второй год жизни накопление биологического азота в урожае люцерны составляло 156,9-184,2 кг/га и на третий год – 189,2-224,1 кг/га. Во все годы исследований люцерна Агния и Нижегородская наиболее положительно реагировали на внесение молибдата аммония, увеличив фиксацию атмосферного азота на 11,2-14,0%. Прослеживалась тенденция более высокого накопления азота в люцерне изменчивой по сравнению с люцерной желтой.

На сильноокислой почве зеленая масса люцерны содержала меньше сырого протеина. Его концентрация в сухом веществе по укосам варьировалась от 12,22 до 16,43%. Также в урожае люцерны меньше аккумулировалось биологического азота, чем в растениях на слабоокислой дерново-подзолистой почве. На второй год за три укоса в урожае люцерны на фиксированный азот воздуха приходилось от 82,1 до 125,1 кг/га.

ГЛАВА 6. ФОРМИРОВАНИЕ КОРНЕВОЙ МАССЫ У ЛЮЦЕРНЫ И ЭСПАРЦЕТА НА СЛАБООКУЛЬТУРЕННОЙ ПОЧВЕ

Многолетние травы превосходят однолетние культуры по мощности корневых систем. Это обусловлено как их биологическими особенностями, так и более продолжительной вегетацией в течение многих лет жизни. У люцерны и эспарцета главный стержневой корень сохраняется в течение всей жизни и может достигать глубины 2-5 метров. Общая длина корней, глубина их проникновения тесно коррелирует с массой побегов люцерны и приспособляемостью растений к стрессам окружающей среды (Lynch J.P., 2019; Pan X. et al., 2023). Некоторые исследователи с массой корней связывают долголетие люцерны (Карлсон Г.Е., Четтертон Н.Дж., Харт Р.Х., 1977).

В год посева люцерна изменчивая сформировала в верхнем слое почвы 0-30 см корневую систему массой от 2,57 до 3,54 т/га сухого вещества (таблица 22). На следующий год масса корней увеличилась до 4,88-5,48 т/га. Эспарцет песчаный на кислой дерново-подзолистой почве уступал люцерне по массе подземных органов в первый год жизни в 2,1-3,2 раза. К концу второго года жизни эти различия возросли до 6,4-9,8 раз. Это обусловлено тем, что в год посева в общей подземной массе большая доля приходилась на корни ежевника обыкновенного. Люцерна сорта Агния положительно реагировала на внесение комплексного микроудобрения Аквамикс, увеличив массу корней на 6,8%. У люцерны Таисия и эспарцета Павловский различия между вариантами были незначительными, хотя можно отметить тенденцию увеличения массы корней у люцерны в вариантах со Спорием. Считается, что содержащий в Спорие консорциум *Bacillus* выделяет ферменты и органические кислоты, которые мобилизуют калий и фосфор труднорастворимых минералов, а способность бацилл к азотфиксации улучшает азотное питание растений. Усиленное поглощение растением NPK стимулирует рост мощной корневой системы (URL:<https://crop.ati-don.ru/sporion>).

Таблица 22 – Влияние удобрений и регулятора роста на формирование
корневой массы и клубеньков на корнях люцерны и эспарцета

Вариант	Масса корней, т/га сухой массы		Накопление азота в корневой массе, кг/га		Масса корневых клубеньков, кг/га сырой массы	
	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.
Люцерна изменчивая сорт Агния						
Контроль	3,07	5,13	62,6	95,4	202	189
Альбит	2,62	5,37	50,8	101,5	213	184
Спорион	2,83	5,41	61,1	101,8	238	225
Аквамикс	3,09	5,48	65,5	101,4	216	231
Аквамикс + Альбит	3,10	5,27	64,5	96,4	222	202
Аквамикс + Спорион	2,97	5,16	56,7	99,6	228	199
Люцерна изменчивая сорт Таисия						
Контроль	3,11	5,28	62,5	90,1	219	201
Альбит	2,94	5,06	57,9	84,6	225	200
Спорион	2,57	5,16	59,9	80,2	250	217
Аквамикс	3,22	5,08	72,1	94,0	221	225
Аквамикс + Альбит	2,92	5,24	60,4	97,5	238	232
Аквамикс + Спорион	3,24	5,36	62,5	103,4	247	208
Эспарцет песчаный сорт Павловский						
Контроль	1,01	0,68	22,1	15,0	120	69
Альбит	1,08	0,65	35,6	13,1	129	69
Спорион	1,14	0,56	37,0	13,2	118	99
Аквамикс	1,12	0,76	28,9	16,4	125	80
Аквамикс + Альбит	1,18	0,58	31,2	10,7	134	87
Аквамикс + Спорион	1,20	0,65	27,4	12,7	122	81
НСР ₀₅	0,22	0,31	5,2	7,9	28	25

Количество активных клубеньков может служить косвенным признаком активной симбиотической азотфиксации. Особенно отрицательно на развитие клубеньковых бактерий влияет повышенная кислотность почвы (Hayes R.C., 2016). В условиях опыта, несмотря на сильно кислую почву, на корнях люцерны

в первый год жизни сырая масса клубеньков перед уходом растений в зимовку составляла от 202 до 250 кг/га и на второй – 184-232 кг/га (Дикарева С.А., Куренкова Е.М., 2024а).

На кислых почвах проявляется токсичное действие подвижного алюминия на растения и клубеньковые бактерии. Однако, при высокой обеспеченности почвы фосфорными соединениями подвижный алюминий связывается фосфором, в значительной степени нивелируя его отрицательное действие на растения (Клебанович Н.В., 2002).

В первый год жизни в корнях люцерны аккумулировалось от 50,8 до 72,1 кг/га азота, и на второй год его количество увеличилось до 80,2-103,4 кг/га. В сухой массе корней эспарцета содержание азота составляло 2,03%, а в корнях люцерны меньше – в среднем 1,84%, но уменьшение массы подземных органов сопровождалось снижением накоплением азота в вариантах с эспарцетом в 2024 году. Применение одного Аквамикса и в смеси с регулятором роста и микробиологическим удобрением увеличивало накопление азота в корневой массе люцерны Таисия, и существенно не изменяло этот показатель в сорте Агния.

У эспарцета песчаного из-за большей чувствительности к повышенной кислотности в первый год жизни на корнях формировалось в 1,8 раза меньше клубеньков, чем у кислотоустойчивых сортов люцерны изменчивой сортов Агния и Таисия. На второй год жизни масса клубеньков у эспарцета уменьшилась с 118-134 кг/га до 69-99 кг/га. У люцерны изменчивой Агния – это снижение составило 10,6% и у Таисии – 7,4%. Клубеньковые бактерии плохо переносят дефицит влаги. Условия атмосферного увлажнения после проведения 3-его укоса были неблагоприятными как в 2023, так и в 2024 годы. Начиная с 3-ей декады августа по 1-ую декаду октября, выпало соответственно по 13,7 и 10,2 мм осадков. Гидротермический коэффициент (ГТК) в сентябре 2023 года составил 0,23 и в 2024 году – 0,20. В 2024 году бездождевой период продолжался с 21 августа по 26 сентября. Несмотря на дефицит влаги и повышенную

кислотность почвы, процесс образования клубеньков в этот период вегетации не прекращался.

Клубеньковые бактерии *Sinorhizobium meliloti* способны формировать клубеньки при относительно невысоких температурах 10-12°C. В условиях опыта тепловой режим не являлся ограничивающим фактором для азотфиксации, поскольку переход среднесуточной температуры через + 10°C отмечался в осенние периоды 2023 и 2024 гг. соответственно 6 и 10 октября

Применение различных препаратов способствовало увеличению массы клубеньков у люцерны на 7,9-12,3%.

Заключение по главе 6

На слабоокультуренной дерново-подзолистой почве в год посева люцерны изменчивая сформировала в верхнем слое почвы 0-30 см корневую систему массой от 2,57 до 3,54 т/га сухого вещества. На следующий год масса корней увеличилась до 4,88-5,48 т/га. Эспарцет песчаный уступал люцерне по массе подземных органов в первый год жизни в 2,1-3,2 раза. К концу второго года жизни эти различия возросли до 6,4-9,8 раз. Несмотря на сильно кислую почву, процесс фиксации атмосферного азота проходил достаточно активно. В первый год жизни в корнях люцерны аккумулировалось от 50,8 до 72,1 кг/га азота, и на второй год его количество увеличилось до 80,2-103,4 кг/га. На корнях люцерны формировались эффективные клубеньки. В первый год жизни сырая масса клубеньков перед уходом растений в зимовку составляла от 202 до 250 кг/га и на второй – 184-232 кг/га.

ГЛАВА 7. АГРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЛЮЦЕРНЫ НА ПОЧВАХ РАЗНОГО УРОВНЯ ПЛОДОРОДИЯ

7.1. Агроэнергетическая эффективность возделывания многолетних трав

Оценка эффективности возделывания сельскохозяйственных культур может быть проведена путем расчета таких экономических показателей как себестоимость, рентабельность, производительность труда, а также путем расчета энергетических показателей. В кормопроизводстве такими показателями являются биоэнергетический и агроэнергетический коэффициенты, затраты совокупной энергии на возделывание культуры и выход энергии с урожаем.

В условиях рыночной экономики по-прежнему приоритет отдается экономической оценке, поскольку финансовые затраты должны окупаться и приносить прибыль. При значительном колебании цен на товары и услуги энергетические показатели могут являться хорошим дополнением к экономической оценке технологий производства продукции растениеводства.

Метод агроэнергетической оценки технологий позволяет учесть все затраты в джоулях. Джоуль является единицей измерения энергии, работы и количества теплоты в Международной системе единиц (СИ).

Травяная экосистема является крупнейшей наземной экосистемой в мире, занимая 40% земной суши. Она включает луговые, степные, пустынные, тундровые типы растительности, саванны и другие угодья с травянистой растительностью. Травы являются не только источником кормов для животных, но и выполняют огромную природоохранную роль, уменьшая ветровую и водную эрозию, формируют большую корневую массу осуществляя секвестрацию углерода, способствуют обогащению почв гумусом и азотом. Агроэнергетический метод позволяет не только оценить окупаемость

антропогенной энергии выходом энергии с урожаем, но и определить накопление валовой энергии в подземной массе фитоценозов, рассчитать энергетическую емкость плодородия почв луговых угодий и суммарное количество валовой энергии с распределением её потоков по составляющим элементам.

В условиях полевого опыта по сравнению продуктивности люцерны изменчивой и люцерны желтой средние ежегодные затраты совокупной энергии на выращивание трав варьировались от 9,31-9,62 (контроль) до 11,75-11,77 ГДж/га (вариант с Альбитом) (таблица 23).

Таблица 23 – Агроэнергетическая эффективность возделывания фестулолиума, люцерны изменчивой и люцерны желтой при применении регулятора роста, микробиологического удобрения и микроудобрения, в среднем за 2022-2024 гг.

Вариант	Сбор СВ, т/га	Выход обменной энергии, ГДж/га	Затраты совокупной энергии, ГДж/га	Затраты совокупной энергии (МДж) на 1 ГДж ОЭ	Агроэнергетический коэффициент
Фестулолиум сорт Фест					
	2,16	21,3	8,41	395	2,5
Люцерна изменчивая сорт Агния					
Контроль	6,5	64,9	9,31	143	7,0
Альбит	6,92	69,1	11,75	170	5,9
Спорион	6,66	66,5	11,63	175	5,7
Молибдат аммония	7,07	70,8	11,47	162	6,2
Люцерна изменчивая сорт Таисия					
Контроль	6,63	65,9	9,62	146	6,8
Альбит	7,13	71,1	11,77	166	6,0
Спорион	6,99	69,7	11,66	167	6,0
Молибдат аммония	6,89	68,9	11,37	165	6,1
Люцерна желтая сорт Нижегородская					
Контроль	6,4	63,5	9,46	149	6,7
Альбит	6,65	66,2	11,77	178	5,6
Спорион	6,77	67,0	11,68	174	5,7
Молибдат аммония	6,78	67,9	11,48	169	5,9

Затраты на залужение составили 9,16 ГДж/га, и они были распределены на пятилетний срок использования травостоев люцерны. Среди них наибольшая доля приходилась на обработку почвы и семена трав. Текущие затраты складывались из трехкратного некорневого внесения регулятора роста и удобрений, скашивания и транспортировки травяной массы на ферму для использования в качестве зеленой подкормки.

Многолетние травы, и в особенности люцерна, благодаря длительному долголетию, обеспечению своих потребностей в азоте посредством симбиотической фиксации, высокой засухоустойчивости, является энергоэкономной культурой. Затраты совокупной энергии окупались выходом обменной энергии в 5,6-7,0 раз. В среднем по всем вариантам несколько более высокий агроэнергетический коэффициент – от 6,0 до 6,8 обеспечивался при возделывании сорта Таисия. Наибольший агроэнергетический коэффициент (6,7-7,0) в среднем за три года получен на всех трех сорта люцерны в контрольном варианте, где не применяли удобрения и регулятор роста. При энергетической оценке нередко наивысшая окупаемость обеспечивается при минимальных затратах антропогенной энергии. Но для многолетних культур необходимо учитывать перспективы продления их продуктивного долголетия. Без дополнительных затрат по уходу под воздействием различных стрессовых ситуаций растения могут быстро изредиться.

Минимальная окупаемость совокупных затрат энергии при агроэнергетическом коэффициенте 2,5 получена при выращивании фестулолиума сорта Фест. В отличие от люцерны, обеспечивающей свои потребности в азоте за счет симбиоза с клубеньковыми бактериями, фестулолиум без внесения минерального азота обеспечивал урожай на уровне 2,0 т/га с 1 га сухой массы, как и большинство злаковых трав на дерново-подзолистых почвах средней степени окультуренности. При внесении под фестулолиум азотных удобрений возможно достижение такой урожайности,

которую давала люцерна, но из-за высоких дополнительных затрат на удобрения показатели окупаемости будут значительно ниже, чем на люцерне.

Другим показателем, характеризующим энергетическую эффективность, является уровень затрат совокупной энергии (МДж) на 1 ГДж ОЭ. Наименьшие затраты отмечались в контрольных вариантах (143-149 МДж) и при применении молибденового удобрения (162-169 МДж).

На слабоокультуренной сильнокислой почве с очень низким содержанием подвижного калия показатели энергетической эффективности были существенно ниже, чем в опыте 1 на почве со средней степенью окультуренности (таблица 24). Очень низкая обеспеченность почвы калием потребовала внесения калийных удобрений в виде гранулированного хлористого калия в дозе K_{120} , что увеличило совокупные затраты на 996 МДж/га. Также возросли затраты в вариантах с бинарным применением препаратов, а достигнутый уровень продуктивности здесь был ниже.

В среднем по всем вариантам с люцерной изменчивой на сильнокислой почве в 2024 году получено на 42,8% меньше корма. При более низкой урожайности и более высоких затратах энергии агроэнергетический коэффициент при возделывании люцерны не превышал 4,1ед. Максимальный показатель – 4,0-4,1 отмечался в контроле и в варианте с внесением смеси двух препаратов – Аквамикса и Споридона.

При выращивании фестулолиума и эспарцета песчаного при их невысокой урожайности – соответственно 2,14 и 2,61-2,84 т/га сухого вещества агроэнергетический коэффициент был ниже и составлял 2,1-2,6, а затраты совокупной энергии на 1 ГДж ОЭ были в 1,7 раза выше, чем на люцерне.

Таблица 24 – Агроэнергетическая эффективность возделывания фестулолиума, люцерны изменчивой и эспарцета песчаного при применении регулятора роста, микробиологического удобрения и микроудобрений, в среднем за 2023-2024 гг.

Вариант	Сбор СВ, т/га	Выход обменной энергии, ГДж/га	Затраты совокупной энергии, ГДж/га	Затраты совокупной энергии (МДж) на 1 ГДж ОЭ	Агроэнергетический коэффициент
Фестулолиум сорт Фест					
	2,14	20,9	9,99	474	2,1
Люцерна изменчивая сорт Агния					
Контроль	4,33	42,8	10,51	226	4,1
Альбит	4,69	46,5	12,79	275	3,6
Спорион	4,44	43,8	12,67	289	3,5
Аквамикс	4,67	46,2	12,69	275	3,6
Аквамикс + Альбит	4,76	47,1	12,97	275	3,6
Аквамикс + Спорион	5,20	51,3	12,95	252	4,0
Люцерна изменчивая сорт Таисия					
Контроль	4,28	42,4	10,51	248	4,0
Альбит	4,85	47,7	12,80	268	3,7
Спорион	4,6	45,8	12,68	277	3,6
Аквамикс	4,75	47,0	12,70	270	3,7
Аквамикс + Альбит	5,07	50,1	13,00	259	3,8
Аквамикс + Спорион	5,19	51,8	12,95	250	4,0
Эспарцет песчаный сорт Павловский					
Контроль	2,71	26,9	10,39	386	2,6
Альбит	2,84	28,2	12,85	456	2,2
Спорион	2,66	26,5	12,55	474	2,1
Аквамикс	2,61	26,4	12,52	474	2,1
Аквамикс + Альбит	2,79	27,8	12,81	461	2,2
Аквамикс + Спорион	2,68	26,8	12,73	475	2,1

7.2. Экономическая эффективность возделывания многолетних трав

Наиболее важными показателями, позволяющими оценить экономическую эффективность возделывания многолетних трав, являются себестоимость получаемой продукции, чистый доход и рентабельность. Эти экономические показатели зависят от производственных затрат и выхода продукции с 1 га. Многолетние бобовые травы являются энергоэкономными культурами, не требующими внесения дорогостоящих азотных удобрений. В опыте 1 затраты на залужение, составившие от 10956 до 11589 руб./га, были распределены равномерно по годам на пятилетний период использования травостоев люцерны и фестулолиума. Срок эксплуатации травостоев люцерны может достигать десять и более лет (Лазарев Н.Н., Куренкова Е.М., Дикарева С.А., 2023), что снижает затраты на периодическое перезалужение и, соответственно, позволяет получать более дешевые корма. Защитно-стимулирующие препараты в исследованиях (Альбит, Спорин и молибдат аммония) применяли в небольших нормах – от 40 мл/га (Альбит) до 1 л/га (Спорин), но трехкратное применение их в течение сезона увеличивало текущие затраты по уходу за травостоями по сравнению с контрольным вариантом на 2191-2304 руб./га. По этой причине в контрольном варианте получаемые зеленые корма имели наименьшую себестоимость (2,12-2,15 руб. за 1 ЭКЕ) и наивысшую рентабельность – 318-324% (таблица 25). Из используемых препаратов наиболее выгодной была некорневая подкормка молибдатом аммония. В этом варианте себестоимость и рентабельность составили соответственно 2,20-2,26 руб. и 298-308%, и полученный условный чистый доход здесь при выращивании люцерны Агния и Нижегородская были максимальными.

Травостой фестулолиума уступал люцерне по продуктивности в 3-3,3 раза и по производственным затратам на выращивание в 1,5-1,7 раза. Это определило

получение корма с наибольшей себестоимостью (3,0 руб. за 1 ЭКЕ), наименьшими условным чистым доходом и уровнем рентабельности.

Таблица 25 – Экономическая эффективность возделывания люцерны и фестулолиума на среднеокультуренной дерново-подзолистой почве

Вариант	ЭКЕ/га	Прямые затраты, руб./га	Себестоимость 1 ЭКЕ, руб.	Условный чистый доход, руб./га	Рентабельность, %
Фестулолиум сорт Фест					
	2132	9385	3,00	9 803	104
Люцерна изменчивая сорт Агния					
Контроль	6494	13 774	2,12	44 672	324
Альбит	6907	15 784	2,29	46 379	294
Спорион	6646	15 685	2,36	44 129	281
Молибдат аммония	7082	15 606	2,20	48 132	308
Люцерна изменчивая сорт Таисия					
Контроль	6593	13 861	2,10	45 776	330
Альбит	7112	15 957	2,24	48 051	301
Спорион	6968	15 959	2,29	46 753	293
Молибдат аммония	6890	15 458	2,24	46 552	301
Люцерна желтая сорт Нижегородская					
Контроль	6351	13 672	2,15	43 487	318
Альбит	6616	15 563	2,35	43 981	283
Спорион	6702	15 776	2,35	44 542	282
Молибдат аммония	6793	15 369	2,26	45 768	298

Более низкий уровень урожайности люцерны опыте 2 на слабоокультуренной почве обусловил получение кормов с более высокой себестоимостью и низкими показателями рентабельности условного чистого дохода. Фестулолиум давал такую же урожайность, как и в опыте 1, поэтому по экономическим показателям существенных различий не отмечалось. Люцерна, несмотря на кислую почву, превосходила фестулолиум по урожайности в 2,0-2,5 раза. Прибавки урожайности от применения различных препаратов на кислой почве были более существенными, поэтому затраты на их внесение окупались лучше, чем в опыте 1. Себестоимость 1 ЭКЕ кормов из люцерны варьировалась от 2,90 до 3,16 руб. и рентабельность от 184 до 210%

(таблица 26). Наибольший условный чистый доход достигался в вариантах с совместным внесением Аквамикса и Спорiona – 30835 и 31239 руб./га. Просматривалась тенденция более высокой окупаемости затрат при возделывании люцерны изменчивой сорта Таисия.

Изреженный травостой эспарцета песчаного не проявил реакции на применение различных препаратов. Однако следует отметить, что даже при невысоком выходе энергетических кормовых единиц (2640-2820 ЭКЕ с 1 га), все экономические показатели по оценке эффективности возделывания эспарцета оказались на приемлемом уровне.

Таблица 26 – Экономическая эффективность возделывания люцерны, эспарцета и фестулолиума на слабоокультуренной дерново-подзолистой почве

Вариант	ЭКЕ/га	Прямые затраты, руб./га	Себестоимость 1 ЭКЕ, руб	Условный чистый доход, руб./га	Рентабельность, %
Фестулолиум сорт Фест					
	2086	9 321	4,47	9 453	101
Люцерна изменчивая сорт Агния					
Контроль	4275	11 965	2,80	26 510	222
Альбит	4647	13 946	3,00	27 877	200
Спорion	4380	13 856	3,16	25 564	184
Аквамикс	4622	13 948	3,02	27 650	198
Аквамикс + Альбит	4711	14 663	3,11	27 736	189
Аквамикс + Спорion	5131	15 344	2,99	30 835	201
Люцерна изменчивая сорт Таисия					
Контроль	4236	11 924	2,81	26 200	220
Альбит	4772	13 856	2,90	29 092	210
Спорion	4580	13 987	3,05	27 233	195
Аквамикс	4700	14 014	2,98	28 286	202
Аквамикс + Альбит	5007	14 917	2,98	30 146	202
Аквамикс + Спорion	5175	15 336	2,96	31 239	204
Эспарцет песчаный сорт Павловский					
Контроль	2689	10 636	3,96	13 565	128
Альбит	2820	12 479	4,42	12 901	104
Спорion	2647	12 396	4,67	11 427	92
Аквамикс	2640	12 179	4,61	11 581	95
Аквамикс + Альбит	2781	13 048	4,69	11 981	92
Аквамикс + Спорion	2676	13 278	4,96	10 806	81

Заключение по главе 7

Агроэнергетическая и экономическая оценка возделывания различных сортов люцерны изменчивой и люцерны желтой показала, что эти бобовые травы являются энергоэкономными культурами, обеспечивающими получение высоких урожаев при небольших затратах на их выращивание. Экономия азотных удобрений обеспечивалась за счет симбиотической азотфиксации, способствовавшей не только повышению содержания сырого протеина в урожае, но и увеличению запасов органического вещества и азота в почве. Люцерна обеспечивала получение дешевых зеленых кормов с себестоимостью 1 ЭКЕ 2,10-3,16 руб. при уровне рентабельности 184-330% и агроэнергетическом коэффициенте от 2,1 до 7,0 ед. Сенокосно-пастбищные сорта люцерны изменчивой Агния и Таисия даже на сильнокислой почве позволяли получать корма с высокими экономическими показателями.

Дополнительные затраты на внесение новых форм удобрений и регулятора роста не всегда способствовали снижению себестоимости получаемых кормов, но увеличивали урожайность и условный чистый доход. Применение регулятора роста, микроудобрений и микробиологического удобрения может способствовать повышению устойчивости растений, продлению их продуктивного долголетия и снижению затрат на периодическое перезалужение травостоев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На среднеокультуренной слабокислой дерново-подзолистой почве сорта люцерны изменчивой Агния и Таисия, созданные методом сопряженной симбиотической селекции, на 2-3-ий годы жизни формируют устойчивые агрофитоценозы с урожайностью 7,94-10,28 т/га сухой массы. Люцерна желтая сорта Нижегородская уступает по продуктивности люцерне изменчивой сорта Таисия и существенно не отличается по сбору корма от люцерны сорта Агния.

2. На слабоокультуренной сильнокислой почве с pH_{KCl} 4,52 люцерна изменчивая Агния и Таисия обеспечивает получение трех укосов с урожайностью 6,24-7,62 т/га сухого вещества. На 2-ой год жизни формируются густые травостои (602-1415 шт. побегов/м²) с высокой долей люцерны в ботаническом составе агрофитоценозов – 80,2-99,3%. В травостое эспарцета песчаного сорта Павловский в условиях повышенной кислотности 24,8-41,8% приходилось на сорные травы, и он уступал по продуктивности люцерне в 1,7-1,8 раза.

3. В среднем за 3 года на среднеокультуренной дерново-подзолистой почве некорневое применение регулятора роста Альбит, микробиологического удобрения Спорин и молибдата аммония способствует повышению урожайности люцерны сортов Таисия и Нижегородская на 3,9-7,5%. Сорт Агния при внесении молибдата аммония и Альбита увеличивает урожайность соответственно 8,8 и 6,5%. На слабоокультуренной почве в среднем за два года сорт люцерны Агния дает достоверно более высокий урожай при применении Аквамикса в сочетании со Спорин – 5,2 т/га, а сорт Таисия – в вариантах Аквамикс + Альбит и Аквамикс + Спорин – соответственно 5,07 и 5,19 т/га, что соответственно на 20,1%; 18,4 и 21,3% больше, чем в контроле.

4. Люцерна благодаря активной фиксации азота эффективными штаммами клубеньковых бактерий превосходит по урожайности фестулолиум сорта Фест на слабокислой почве в 3-3,3 раза и на сильнокислой – в 1,9-2,3 раза.

5. Люцерна изменчивая и люцерна желтая в условиях дефицита атмосферных осадков и повышенного теплового режима во все годы проведения исследований формировала три полноценных укоса, при этом на 1,2,3-ий укосы проходило соответственно 25-38%; 33-47 и 29-40% годового урожая.

6. Сорта люцерны изменчивой Агния и Таисия характеризуются высокой устойчивостью в агрофитоценозах. На среднеокультуренной почве к концу третьего года жизни сохранилось 111-122 растения и на сильнокислой 110-139 растений на 1 м² к концу второго года, при этом доля несеяных трав в ботаническом составе травостоев была невысокой – 0,2-16,6%. Люцерна желтая Нижегородская превосходит люцерну изменчивую по густоте на 6-7 растений на 1 м² и уступает ей по высоте побегов на 3-4 см.

7. Зеленая масса люцерны изменчивой и люцерны желтой имеет высокое содержание сырого протеина (13,45-20,02%), кальция (1,21-1,82%), фосфора (0,33-0,44%) и обменной энергии (9,84-10,15 МДж/кг СВ), что позволяет получить первоклассное сено и сенаж. На слабоокультуренной дерново-подзолистой почве в получаемых кормах содержалось меньше этих компонентов соответственно на 2-3,5; 0,22-0,27; 0,04-0,06 абс. %

8. На среднеокультуренной почве сорта люцерны изменчивой Агния и Таисия обладают высоким уровнем симбиотической азотфиксации, аккумулируя в надземной массе 156,9-224,1 кг/га азота в год. В среднем за три года исследований люцерна Агния, Таисия и Нижегородская наиболее положительно реагировали на внесение молибдата аммония, увеличив фиксацию атмосферного азота соответственно на 9,9; 5,6 и 14,0%.

9. При инокуляции высокоэффективными штаммами клубеньковых бактерий люцерна изменчивая на слабоокультуренной почве к концу 2-го года жизни накапливает в пахотном слое почвы 5,13-5,48 т/га сухой корневой массы, в которой содержится 80-103 кг/га азота и 50-57 кг/га Р₂О₅. Несмотря на повышенный уровень кислотности, на корнях люцерны формировались

эффективные клубеньки – в первый год жизни сырая масса клубеньков перед уходом растений в зимовку составляла от 202 до 250 кг/га и на второй – 184-232 кг/га. При применении препаратов масса клубеньков возрастает на 7,9-12,3%.

10. Люцерна на среднеокультуренной почве обеспечивает получение дешевых зеленых кормов с себестоимостью 2,12-2,36 руб. за 1 ЭКЕ при высоком агроэнергетическом коэффициенте 5,6-7,0 ед. На слабоокультуренной почве агроэнергетический коэффициент при возделывании люцерны снижается до 3,5-4,1 ед., а себестоимость возрастает на 32,0-33,9%. При некорневом использовании защитно-стимулирующих препаратов наибольший экономический и агроэнергетический эффект достигается при применении молибдата аммония и смеси Аквамикса со Спорием.

Рекомендации производству

Для формирования устойчивых агрофитоценозов люцерны на дерново-подзолистых почвах с целью получения стабильных урожаев на уровне 8-10 т/га сухого вещества рекомендуется:

- на среднеокультуренных слабокислых почвах возделывать люцерну изменчивую сорта Агния и люцерну желтую сорта Нижегородская с использованием некорневой подкормки молибдатом аммония в дозе 100 г/га;
- на слабоокультуренных сильнокислых почвах возделывать люцерну изменчивую сорта Таисия, перед посевом проводить инокуляцию семян штаммом клубеньковых бактерий СХМ 404Б, для некорневой подкормки использовать концентрированное микроудобрение Аквамикс ТВ (150 г/га) совместно с микробиологическим удобрением Ультраспор марки Спорием (1 л/га).

Перспективы дальнейшей разработки темы

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку приемов повышения продуктивного долголетия перспективных сортов люцерны изменчивой, созданных методом сопряженной симбиотической селекции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аверкин, П.М. Формирование урожая и качества люцерны в зависимости от регулятора роста / П.М. Аверкин, В.В. Бутяйкин, М.П. Аверкина. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, 2017. – 80 с.
2. Агладзе, Г. Влияние соотношения бобовых и злаковых многолетних трав на продуктивность сеяного сенокоса / Г. Агладзе, Д. Джинчарадзе, М. Чабукиани // Кормопроизводство. – 2005. – № 2. – С. 9-11.
3. АгроТехнические инновации: [Электронный ресурс]. URL: <https://crop.attidop.ru/sporion> (Дата обращения: 23.02.2025).
4. Алферов, А.А. Эффективность биопрепаратов эндофитных бактерий на яровой пшенице и устойчивость агроэкосистемы / А.А. Алферов, А.А. Завалин, Л.С. Чернова, В.К. Чеботарь // Плодородие. – 2019. – №1. – С. 41-44.
5. Благовещенский, Г.В. Кормопроизводство Нечерноземной зоны в изменяющемся климате / Г.В. Благовещенский // Кормопроизводство. – 2008. – №10. – С. 6-8.
6. Вавилов, П.П. Бобовые культуры и проблемы растительного белка / П.П. Вавилов, Г.С. Посыпанов – М.: Россельхозиздат, 1983. – 242 с.
7. Василенко, Р.Н. Формирование многолетних агроценозов на малопродуктивных землях Украины / Р.Н. Василенко, С.В. Яворский // Кормопроизводство. – 2015. – № 3. – С. 16–20.
8. Волобуева, О.Г. Взаимодействие биологически активных веществ ризобий и ризобактерий с эндогенными фитогормонами растений гороха разных сортов / О.Г. Волобуева, И.В. Скоробогатова, В.К. Шильникова // Агрохимия. – 2008. - № 8. – С.42-45.
9. Волобуева, О.Г. Влияние биопрепарата альбит на содержание фитогормонов в растениях фасоли разных сортов и эффективность симбиоза /

- О.Г. Волобуева, И.В. Скоробогатова, В.К. Шильникова //Известия ТСХА. – 2010. – Вып.1. – С.105-113.
10. Волобуева, О.Г. Роль ростовых веществ в формировании бобово-ризобияльного симбиоза /О.Г.Волобуева //Продукционный процесс растений и его регуляция. Сборник статей. Орел, - 2014. – С.275-278.
 11. Волошин, В.А. Вопросы полевого травосеяния в Предуралье / В.А. Волошин. – Пермь: изд-во «ОТ и ДО», 2012. – 380 с.
 12. Волошин, В.А. Предварительные итоги изучения эспарцета песчаного в Пермском крае / В.А. Волошин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2015. – №1. – С. 49–54.
 13. Волошин, В.А. Эспарцет песчаный и его агроэкологическая роль в земледелии / В.А. Волошин, Г.П. Майсак, Л.С. Терентьева // Кормопроизводство. – 2021. – №5. – С. 21-25.
 14. Вэнс, К. Симбиотическая азотфиксация у бобовых: сельскохозяйственные аспекты / К. Вэнс // Молекулярная биология бактерий, взаимодействующих с растениями / Под. ред. Г. Спайнка и др. СПб.: Бионт, 2002. – С. 541-564.
 15. Гейгер, Е.Ю. Микроудобрения на хелатной основе: опыт и перспективы использования / Е.Ю Гейгер, Л.Д. Варламова, В.В Семенов, Ю.В. Погодина и др. // Агрохимический вестник. – 2017. – №2. – С. 29- 32.
 16. Голобородько, С.П. Люцерна: Монография / С.П. Голобородько, Н.Н. Лазарев. – М.: Издательство РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2009. – 425 с.
 17. Голобородько, С.П. Эспарцет песчаный в южной степи Украины / С.П. Голобородько, Н.Н. Гальченко // Кормопроизводство. – 2012. – № 10. – С. 32–33.
 18. Гончаров, П.Л. Биологические аспекты возделывания люцерны / П.Л. Гончаров, П.А. Лубенец – Новосибирск: Наука (Сиб. отд-ние), 1985. – 253 с.

19. Горковенко, Л.Г. Совершенствование технологии возделывания люцерны на фуражные цели для стабилизации кормопроизводства и повышения продуктивности пашни на черноземах Западного Предкавказья: Автореф. дис. докт. сельскохозяйств. наук: 06.01.09 / Л.Г. Горковенко. – Краснодар, 2008. – 50 с.
20. Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию: официальное издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2024. – 620 с.
21. Грязева Т.В. Сорта эспарцета для выращивания в засушливых условиях / Т.В. Грязева, С.А. Игнатьев, Н.Г. Игнатъева, И.М. Чесноков // Зерновое хозяйство России. – 2009. – № 2. – С.9–12.
22. Дегунова, Н.Б. Влияние инокуляции на урожайность различных сортов люцерны изменчивой / Н.Б. Дегунова, Ю.Б. Данилова // Кормопроизводство. – 2013. – №7. – С. 26-27.
23. Денисов, Г.В. Влияние норм высева семян люцерны на засоренность травостоев на мерзлотных почвах / Г.В. Денисов, В.В. Осипова // Аграрная наука // Кормопроизводство. – 2013. – № 8. – С. 29-30.
24. Дикарева С.А. Формирование травостоев люцерны изменчивой (*Medicago varia* Martyn) сортов Агния и Таисия на дерново-подзолистых почвах / С.А. Дикарева, Е.М. Куренкова // В сборнике: Сборник трудов Всероссийской молодежной научной конференции с международным участием IX Вильямсовские чтения. Москва, 2024. – С. 62-65.
25. Дикарева С.А. Урожайность люцерны серповидной (*Medicago falcata* L.) и люцерны изменчивой (*M. varia* Martyn) в условиях Московского региона / С.А. Дикарева, Е.М. Куренкова, С.А. Запивалов // В сборнике: Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича. Сборник статей. Москва, 2024. – С. 284-289.

26. Дикарева С.А. Урожайность люцерны серповидной в одновидовых посевах и травосмесях с фестулолиумом при применении регуляторов роста / С.А. Дикарева, А.А. Климов, Е.М. Куренкова, Н.Н. Лазарев // Плодородие. – 2024. – № 6 (141). – С. 72-76.
27. Дикарева С.А. Урожайность и химический состав зеленой массы люцерны изменчивой (*Medicago varia* Martyn) и люцерны серповидной (*Medicago falcata* L.) при применении регулятора роста Альбит, микробиологического удобрения Спорин и молибдата аммония / Дикарева С.А., Куренкова Е.М., Белопухов С.Л., Дмитриевская И.И. и др. //АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал – 2024. – №6. DOI: <https://doi.org/10.51419/202146614>.
28. Донских Н.А. Создание укосных травостоев с люцерной изменчивой в условиях Ленинградской области / Н.А. Донских, В.В. Владимирова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – №5 (59). – URL: <https://research-journal.org/archive/5-59-2017>
29. Доросинский, Л.М. Конкурентная способность клубеньковых бактерий // Биологический азот в сельском хозяйстве СССР. – М.: Наука, 1989. – С. 27–34.
30. Дроздова, В.В. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зеленой массы люцерны / В.В. Дроздова, А.Х. Шеуджен, Н.Н. Нещадим, А.Н. Лиманский // Плодородие. – 2013.– №6 – С.15-18.
31. Жуйков, Д. В. Сера и микроэлементы в агроценозах (обзор) // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 11. С. 32–42. doi: 10.24411/0235-2451-2020-11105.
32. Завалин, А.А. Потоки азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней / А.А. Завалин, О.А. Соколов. – М.: ВНИИА, 2016. – 591 с.
33. Завалин, А.А. Экология азотфиксации / А.А. Завалин, О.А. Соколов, Н.Я. Шмырева. – М.: РАН, 2019. – 252 с.

34. Золотарев, В.Н. Биологические особенности и технология возделывания эспарцета песчаного на семена в степной зоне Центрально-Чернозёмного региона в условиях аридизации климата Золотарев В. Н., Иванов И.С., Сапрыкин С. В., Чекмарёва А. В. Кормопроизводство. – 2019. – №8. – С. 19-27.
35. Иванов, Д.А. Результаты долговременного мониторинга продуктивности трав в пределах мелиорированного агроландшафта // Д. А. Иванов, О.В. Карасева, М. В. Рубпюк / Глава книги: Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. – Москва: Всероссийский НИИ агрохимии им. Д. Ю. Прянишникова, 2018. – С. 435-438.
36. Иванова, Е.П. Перспективы использования штаммов *Sinorhizobium meliloti* для повышения продуктивности люцерны изменчивой в условиях Приморского края / Е.П. Иванова, А.Г. Клыков // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 1. – Р. 66-74.
37. Иванова, Н.Н. Устойчивость многолетних трав при длительном использовании в условиях осушаемых земель Нечерноземной зоны / Н.Н. Иванова, А.Д. Капсамун, Е.Н. Павлючик и др. // Бюллетень науки и практики. – 2019. –Т. 5, № 4. – С. 189-196.
38. Иванова, Н.Н. Продуктивность и влияние подземной массы бобово-злаковых травостоев на почвенную среду осушаемых земель Нечерноземья России / Иванова Н.Н., Капсамун А.Д., Павлючик Е.Н., Вагунин Д.А. // Кормопроизводство. – 2022. – № 5. – С. 14-19.
39. Каджюлис, Л.Ю. Основные агроприемы интенсификации полевого травосеяния / Л.Ю. Каджюлис // Пути интенсификации кормопроизводства. – М., 1974. – С. 372.
40. Капустин, Н.И. Влияние микроудобрений на симбиотическую азотфиксацию и продуктивность многолетних бобовых трав /

- Н.И. Капустин, А.Н. Налиухин // Проблемы сельского хозяйства: сб. науч. тр. Калининград: КГТУ, 2006. С. 65–72.
41. Карлсон Г.Е. Физиологические и морфологические основы урожайности и выживаемости люцерны / Г.Е. Карлсон, Н.Дж. Четтертон, Р.Х. Харт // Материалы XII Международного конгресса по луговодству. – М., 1977. – Т. 2. – С. 283–284.
 42. Кашеваров, Н.И. Селекция эспарцета (*Onobrychis* Mill.) для кормопроизводства Сибири / Н.И. Кашеваров, Р.И. Полюдина, О.А. Рожанская, А.В. Железнов // Кормопроизводство. – 2013. – № 9. – С. 22–24.
 43. Кидин В.В. Система удобрения / В.В. Кидин. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. 534 с.
 44. Клебанович, Н.В. Обменный алюминий в дерново-подзолистых почвах Беларуси различной кислотности / Н.В. Клебанович // Вестник Белорусского государственного университета. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2002. – № 3. – С. 60–64.
 45. Колобанов, Н.С. Влияние способов посева на продуктивность многолетних бобовых трав на южных чернозёмах Волгоградской области: автореф. дисс. канд. с.-х. наук: 06.01.09 / Колобанов Н.С. – Волгоград, 2007. – 23 с.
 46. Кольцов, А.В. Продуктивность клеверо- и люцернозлаковых травостоев с участием новых сортов люцерны изменчивой и клевера лугового / А.В. Кольцов, С.М. Авдеев // Докл. ТСХА. – 2005. – Вып. 277. – С. 135–138.
 47. Конончук, В.В. Урожайность, азотфиксирующая способность многолетних трав различного видового состава и поступление симбиотически связанного азота в малый биологический круговорот в Центральном Нечерноземье / В.В. Конончук, В.Д. Штырхунов, Г.В. Благовещенский, С.М. Тимошенко и др. // Агрохимия. – 2019. – № 1. – С. 48–57.
 48. Конончук, В.В. Эффективность и оптимизация систем удобрения в севооборотах с разной долей многолетних трав на дерново-подзолистой

- почве центра Нечерноземной зоны России / В.В. Конончук, В.Д. Штырхунов, Г.В. Благовещенский, С.М. Тимошенко и др. // Агрохимия. – 2020. – № 7. – С. 36-46.
49. Кормление животных. Издание 2-е, исправленное и дополненное / Под общ. Ред. И.Ф. Драганова, Н.Г. Макарецца, В.В. Калашникова. В 2-х т. М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2011. Т.1. 341 с.
50. Косолапов, В.М. Кормопроизводство — стратегическое направление в обеспечении продовольственной безопасности России. Теория и практика. / В.М. Косолапов, И.А. Трофимов, Л.С. Трофимова. — М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2009. — 200 с.
51. Кошкин, Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур / Е.И. Кошкин. – М.: Дрофа, 2010. – 638 с.
52. Кутузова, А.А. Роль бобовых трав в системах ведения культурных пастбищ / А.А. Кутузова, Д.М. Тебердиев, Н.Т. Талипов // Кормопроизводство. – 1998. – №6. – С. 2-5.
53. Лазарев, Н.Н. Продуктивное долголетие различных сортов люцерны изменчивой в условиях московской области / Н.Н. Лазарев, А.М. Стародубцева, Е.М. Куренкова, Д.В. Пятинский // Кормопроизводство. – 2014. – №11. – С. 7-11.
54. Лазарев, Н.Н. Урожайность люцернотимофеечных травосмесей в зависимости от способов обработки почвы, известкования и кратности скашивания / Н.Н. Лазарев, Е.М. Куренкова, А.Н. Садовский // Кормопроизводство. – 2011. – №3. – С. 16-18.
55. Лазарев, Н.Н. Влияние известкования на урожайность люцерно-злаковых травосмесей в условиях Московской области / Н.Н. Лазарев, Е.М. Куренкова // Кормопроизводство. – 2011. – №9. – С. 9-11.
56. Лазарев, Н.Н. Урожайность сенокосно-пастбищных сортов люцерны изменчивой на дерново-подзолистой почве в зависимости от приемов обработки и известкования / Н.Н. Лазарев, Е.М. Куренкова, Е.В. Мамонов //

- Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2011. – Вып. 6. – С. 118-126.
57. Лазарев, Н.Н. Луговые травы в Нечерноземье: урожайность, долголетие, питательность / Н.Н. Лазарев, А.Н. Исаков, А.М. Стародубцева. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2015. – 165 с.
58. Лазарев, Н.Н. Продуктивное долголетие новых сортов люцерны изменчивой при интенсивном скашивании / Н.Н. Лазарев, Д.В. Пятинский // Известия ТСХА. – 2016. – Вып. 5. – С. 39-53.
59. Лазарев, Н.Н. Многолетние бобовые травы в Нечерноземье / Н.Н. Лазарев, А.Д. Прудников, А.М. Стародубцева, Е.М. Куренкова – Иркутск: ООО «Мегапринт», 2017. – 263 с.
60. Лазарев, Н.Н. Влияние инокуляции на продуктивность различных сортов люцерны и клевера лугового / Н.Н. Лазарев, А.М. Стародубцева // Кормопроизводство. – 2018. – №1. – С. 25-28.
61. Лазарев, Н.Н. Урожайность козлятника восточного и люцерны изменчивой при долголетнем использовании / Н.Н. Лазарев, О.В. Кухаренкова, Е.М. Куренкова // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2018. – №2 (362). – С. 56-58.
62. Лазарев, Н.Н. Устойчивость клевера ползучего и люцерны изменчивой в сенокосных и пастбищных травостоях при долголетнем использовании / Н.Н. Лазарев, В.А. Тюлин, С.М. Авдеев // Кормопроизводство. – 2018. – № 11. – С. 4-8.
63. Лазарев, Н.Н. Люцерна в системе устойчивого кормопроизводства / Н.Н. Лазарев., О.В. Кухаренкова, Е.М. Куренкова // Кормопроизводство. – 2019. – №14. – С. 18-25.
64. Лазарев, Н.Н. Луговое и полевое кормопроизводство / Н.Н. Лазарев, С.С. Михалев. М.: Издательство РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2020. – 269 с.

65. Лазарев, Н.Н. Симбиотическая фиксация азота многолетними бобовыми травами в луговых агрофитоценозах / Н.Н. Лазарев, О.В. Кухаренкова, С.М. Авдеев, Е.М. Куренкова, С.А. Дикарева // Кормопроизводство. – 2022. – № 2. – С. 20-28.
66. Лазарев Н.Н. Долголетнее использование люцерны на дерново-подзолистых почвах в условиях Московского региона / Н.Н. Лазарев, Е.М. Куренкова, С.А. Дикарева // В книге: Интеграция образования, науки и практики в АПК: проблемы и перспективы. Сборник материалов III международной научно-практической конференции. Луганск, 2023. – С. 198-200.
67. Лазарев Н.Н. Эспарцет (*Onobrychis Adans.*): выгодная культура в органическом лугопастбищном хозяйстве (обзор) / Н.Н. Лазарев, А.В. Шитикова, Е.М. Куренкова, О.В. Кухаренкова, С.А. Дикарева и др. // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 2. – С. 76-94.
68. Лубенец, П.А. Люцерна / П.А. Лубенец. – М.: Сельхозгиз, 1956. – 240 с.
69. Лукомец В.М. Методика агротехнических исследований в опытах с основными полевыми культурами / В.М. Лукомец, Н.М. Тишков Н.М., С.А. Семеренко – Краснодар: Просвещение-Юг, 2022. – 538 с.
70. Лупашку, М. Ф. Особенности агротехники возделывания многолетних бобовых и злаковых трав. Люцерна. / М. Ф. Лупашку. – в кн. «Интенсификация полевого кормопроизводства». – Кишинев: «Картя Молдовеняске», 1980. – С. 194-214.
71. Малышева, Н.Ю. Анализ уровня мобилизации комплекса *Medicago falcata* s.l. на территории СССР / Н.Ю. Малышева, Л.Л. Малышев // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2020. – Вып. 181(3). – С. 17-24.
72. Методика опытов на сенокосах и пастбищах. – М.: ВНИИК, 1971.– Ч. 1.– 232 с.
73. Методические указания по проведению научных исследований на сенокосах и пастбищах. – М.: ВНИИК, 1996. – 152 с.

74. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М.: Россельхозакадемия, 1997. – 156 с.
75. Методическое руководство по оценке потоков энергии в луговых агроэкосистемах. – М.: ВНИИК, 2000. – 24 с.
76. Мёрзлая, Г.Е. Эффективность удобрений при возделывании люцерны серповидной в Якутии / Г.Е. Мёрзлая, В.Б. Борисова // Кормопроизводство. – 2022. – №1. – С. 21-24.
77. Мёрзлая, Г.Е. Влияние удобрений и биопрепарата на урожайность и качество люцерны серповидной / Г.Е. Мёрзлая, В.Б. Борисова // Плодородие. – 2023. – № 5 (134). – С. 50-54.
78. Минеев, В.Г. Экологические последствия длительного применения повышенных и высоких доз минеральных удобрений / В.Г. Минеев, Е.Х. Ремпе // Агрохимия. – 1991. – №3. – С. 146-155.
79. Минина И.П. Луговые травосмеси / И.П. Минина. – М.: Колос, 1972. – 287 с.
80. Михайличенко, Б.П. Концептуальные основы кормопроизводства на современном этапе и на перспективу / Б.П. Михайличенко // Кормопроизводство. – 1997. – № 9. – С. 2-11.
81. Мишустин, Е.Н. Роль бобовых культур и свободноживущих азотфиксирующих микроорганизмов в азотном балансе земледелия / Е.Н. Мишустин, Н.И. Черепков // Круговорот и баланс азота в системе почва–удобрение–растение–вода. – М.: Наука, 1979. – С. 9–18.
82. Нагибин, А.Е. Травы в системе кормопроизводства Урала: монография / А.Е. Нагибин, М.А. Тормозин, А.А. Зырянцева. – Екатеринбург: Изд-во ИПП Уральский рабочий, 2018. — 783 с.
83. Налиухин, А.Н. Эффективность применения микроэлементного комплекса Аквамикс-Т при возделывании козлятника восточного в северной части Нечерноземной зоны России / А.Н. Налиухин, Ю.В. Лактионов // Земледелие. – 2015. – № 2. – С. 25-28.

84. Новосёлов, М.Ю. Селекция клевера лугового на повышение стрессоустойчивости / М.Ю. Новосёлов // Кормопроизводство: проблемы и пути решения. – М., 2007. – 257-262 с.
85. Окорков, В.Н. Влияние удобрений на урожай сена многолетних бобово-злаковых трав на серых лесных почвах Ополя / В.Н. Окорков, О.А. Фенова, Л.А. Окоркова // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – №4. – С. 52-55.
86. Осипов М.А. Совершенствование системы удобрения люцерны, возделываемой на черноземе, выщелоченном Западного Предкавказья: Автореф. дис. канд. сельскохозяйств. наук: 06.01.04 / М.А. Осипов. – Краснодар, 2009. – 23 с.
87. Осипова, В.В., Петрова М.И. Влияние микроудобрений на рост и развитие люцерны серповидной (*Medicago falcata* L.) в условиях мерзлотных почв Якутии / Сборник статей по итогам Международной научно - практической конференции (Казань, 11 октября 2017). – Sterlitamak: АМИ, 2017. – С. 292-295
88. Осипова, В.В. Продуктивность люцерны серповидной и люцерны изменчивой в условиях Якутии / В.В. Осипова, Н.Н. Лазарев // Известия ТСХА. – 2010. – Вып. 1. – С. 50-58.
89. Панков, Д.М. Эффективность возделывания эспарцета песчаного в условиях лесостепи Алтая / Д.М. Панков // Кормопроизводство. – 2012. – №10. – С. 34–36.
90. Петров, В.Б. Перспективы повышения эффективности кормопроизводства с использованием микробиологических препаратов комплексного действия / В.Б. Петров, В.К. Чеботарь / Кормопроизводство. – 2011. – №12. – С. 6-9.
91. Писковацкий, Ю.М. Новые направления в селекции люцерны / Ю.М. Писковацкий, Ю.М. Ненароков, Г.В. Степанова // Кормопроизводство. – 1997. – № 1–2. – С. 42– 45.

92. Писковацкий, Ю.М. Люцерна / Ю.М. Писковацкий // Основные виды и сорта кормовых культур. – М.: Наука, 2015. – С. 113–173.
93. Писковацкий, Ю.М. Новые направления в селекции люцерны и создание экологически дифференцированных, различающихся по типу использования сортов / Ю.М. Писковацкий, Ю.М. Ненароков, Г.В. Степанова, Л.Ф. Соложенцева // Адаптивное кормопроизводство: проблемы и решение: Сб. науч. тр.– М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2002. – С. 294–307.
94. Писковацкий, Ю.М. Фитоценотическая селекция люцерны. / Ю.М. Писковацкий, Ю.М. Ненароков, Л.Ф. Соложенцева, В.Е. Михалев. // Кормопроизводство: проблемы и пути решения. – М., 2007. – С. 284-290.
95. Писковацкий, Ю.М. Селекция сортов люцерны пастбищного типа использования / Ю.М. Писковацкий, М.Г. Ломова // Адаптивное кормопроизводство. – 2012. - №6. – С. 45-53.
96. Плешков, Б.П. Практикум по биохимии растений. – М.: Колос, 1976. – 255 с.
97. Победнов, Ю.А. Биологические основы силосования люцерны с препаратами молочнокислых бактерий / Ю.А. Победнов, В.М. Косолапов // Сельскохозяйственная биология. – 2018 – Том 53, № 2. – С. 258-269.
98. Попов, А.А. Биотехнология повышения продуктивности кормовых культур без минеральных удобрений / А.А. Попов, Г.П. Федорова // Кормопроизводство. – 2012. – №2. – С. 20-21.
99. Посыпанов, Г.С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха / Г.С. Посыпанов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 268 с.
100. Проворов, Н.А. Генетические основы эволюции бактерий – симбионтов растений / Н.А. Проворов, И.А. Тихонович – СПб.: Информ-Навигатор, 2016. – 240 с.
101. Проворов, Н.А. Эколого-генетические основы конструирования высокоэффективных азотфиксирующих микробно-растительных симбиозов / Н.А. Проворов, О.П. Онищук // Экологическая генетика. – 2019. – Т. 17. – № 1. – С. 11–18.

102. Прокина, Л.Н. Продуктивность люцерны и костреца в зависимости от применения минеральных удобрений и препарата ЖУСС / Л.Н. Прокина, Е.В. Медведева, А.А. Моисеев // Научное обеспечение агропромышленного комплекса Поволжья и сопредельных территорий: Материалы научной конференции, посвящённой 100-летию Пензенского научно-исследовательского института сельского хозяйства – Пенза: РИО ПГСХА, 2009. – С. 200-205.
103. Птащев, О.В. Способы регулирования ростовых процессов люцерны посевной / О.В. Птащев // Мелиорация. – 2013. – № 1. – С. 162-170.
104. Росгидромет. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В.М. Катцова; Росгидромет. – Санкт-Петербург: Наукоемкие технологии, 2022. – 676 с.
105. Румянцева, М.Л. Высокоэффективные штаммы клубеньковых бактерий люцерны (*Medicago varia* L.): молекулярно-генетическая характеристика и использование в сопряженной селекции / М.Л. Румянцева, М.Е. Владимирова, В.С. Мунтян, Г.В. Степанова и др. // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54, № 6. – С. 1306–1323.
106. Рябинина, О.В. Эспарцет песчаный — резерв кормовой базы Иркутской области / О. В. Рябинина // Аграрная наука. — 2002. — № 2. — С.10–11.
107. Сабитов, Г.А. Ресурсосберегающие технологии создания высокопродуктивных пастбищ и сенокосов на суходолах в Центральной Нечерноземной зоне РФ: Дис. докт. сельскохоз. наук: 06.01.12 / Г.А. Сабитов. – Великий Новгород, 2006. – 330 с.
108. Сафин, Х.М. Сенокосы и пастбища Урала / Х.М. Сафин, А.А. Зотов. — Уфа: Гилем, 2009. – 359 с.
109. Селивёрстов, И.В. Эффективные технологии создания бобово-злаковых сенокосов в Центральном районе Нечерноземной зоны: Дис. канд. сельскохоз. наук: 06.01.12 / И.В. Селивёрстов. – Москва, 2009. – 223 с.

110. Синицына, Н.Е. Эколого-мелиоративная оценка длительности возделывания многолетних трав на почвах Поволжья / Н.Е. Синицына, Т.И. Павлова, Ю.М. Мохонько // Аграрный научный журнал. – Саратов, 2011. – № 3. – С. 14-19.
111. Слободяник, Т.М. Эспарцет песчаный – перспективная культура для кормопроизводства Амурской области / Т.М. Слободяник, Н.С. Слободяник, Г.П. Чепелев // Инновационные процессы и технологии в современном сельском хозяйстве: материалы международной научно-практической конференции. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2014. – Ч. 1. – С 129–134.
112. Смелов, С.П. Теоретические основы луговодства / С.П. Смелов. – М.: Колос, 1966. – 367 с.
113. Станков, Н.З. Корневые системы полевых культур. – М.: Колос, 1964. – 280 с.
114. Степанова, Г.В. Симбиотические биотехнологии создания эффективных сорто-микробных систем кормовых трав. / Г.В. Степанова, Ю.В. Нижник, О.В. Селицкая, Л.С. Антонова // Кормопроизводство: проблемы и пути решения. – М., 2007. – С. 357-364.
115. Степанова, Г.В. Биотехнология сопряженной селекции люцерны на повышение адаптивной способности [Электронный ресурс] / Г.В. Степанова, В.Н. Золотарев // Адаптивное кормопроизводство. – 2015. – № 1. – С. 28–38.
116. Степанова, Г.В. Влияние погодных условий на химический состав сухого вещества люцерны (*Medicago varia* Mart.) в фазу цветения / Г. В. Степанова // Адаптивное кормопроизводство. – 2019. – № 2. – С. 26-39.
117. Степанова, Г.В. Сорт люцерны изменчивой Таисия / Г.В. Степанова // Адаптивное кормопроизводство. – 2020. – № 2. – С. 21-32.
118. Степанова Г.В. Результаты симбиотической селекции люцерны / Г.В. Степанова // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2023. – Т. 53, № 1. – С. 14-22.

119. Тарковский, М.И. Люцерна. 2-е изд., испр. и доп. / М.И. Тарковский, А.М. Константинова, М.Ф. Гладкий. – М.: Колос, 1974. – 240 с.
120. Тихонович, И.А. Биопрепараты в сельском хозяйстве (методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве) / И.А. Тихонович, А.П. Кожемяков, В.К. Чеботарь др. – М.: Россельхозакадемия, 2005. – 154 с.
121. Тихонович, И.А. Методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве / И.А. Тихонович // Биопрепараты в сельском хозяйстве. – М.: РАСХН, 2005. – С. 4-17.
122. Тихонович, И.А. Симбиозы растений и микроорганизмов: молекулярная генетика агросистем будущего. / И.А. Тихонович, Н.А. Проворов. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2009. – 210 с.
123. Тихонович, И.А. Использование биопрепаратов – дополнительный источник элементов питания растений / И.А. Тихонович, А.А. Завалин, Г.Г. Благовещенская, А.П. Кожемяков // Плодородие. – 2011. – №3. – 9-13.
124. Трепачев, Е.П. Агрохимические аспекты биологического азота в современном земледелии / Е.П. Трепачев. – М.: Агроконсалт, 1999. – 532 с.
125. Троц, В.Б. Агробιοлогические основы формирования высокобелковых травостоев кормовых культур в лесостепи Среднего Поволжья: автореф. дисс. д-ра с.-х. наук: 06.01.09 / Троц В.Б. – Кинель, 2008. – 38 с.
126. Туркова, Е.В. Морфοфизиологические особенности побегообразования многолетних бобовых трав / Е.В. Туркова // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. – 2015. – № 11. – С. 7-14.
127. Устименко, А.С. Корневые системы и продуктивность сельскохозяйственных растений / А.С. Устименко, П.В. Данильчук, А.Т. Гвоздиковская– Киев: Урожай, 1975. – 368 с.
128. Харьков, Г. Д. Люцерна / Г. Д. Харьков. – М.: Агропромиздат, 1989. – 61с.

129. Харьков, Г.Д. Полевое травосеяние – основа устойчивой кормовой базы и биологизации земледелия / Г.Д. Харьков // Кормопроизводство: проблемы и пути решения: Сб. науч. тр.– М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – С. 157-164.
130. Ходырев, И.А. Урожайность и качество корма люцерны и костреца в совместных посевах Предуралья / И.А. Ходырев // Интенсивные приемы повышения продуктивности кормопроизводства в Предуралье. – Пермь, 1991. – С. 21-25.
131. Чиканова, В.М. Бактериальные удобрения / В.М. Чиканова. – Минск: «Урожай», 1988. – 95 с.
132. Шабанова, Г.А. Дикорастущие хозяйственно-ценные растения заповедника «Ягорлык» / Г. А. Шабанова, Т. Д. Изверская, В. С. Гендов; под ред. И. Тромбицкого. – Кишинев : Есо-TIRAS, 2012. – 260 с.
133. Шамсутдинов, З.Ш. Результаты и современные приоритеты в селекции кормовых растений / З.Ш. Шамсутдинов, Ю.М. Писковацкий, М.Ю. Новоселов и др. // Кормопроизводство: проблемы и пути решения: Сб. науч. тр. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – С. 241–256.
134. Шаповал, О.А. Влияние регуляторов роста растений и доз NPK на фотосинтетическую деятельность растений подсолнечника / О.А. Шаповал, Р.М. Алиев-Лещенко // Плодородие. – 2014. – №1. – С. 2-4.
135. Шатский, И.М. Селекция и семеноводство многолетних трав в Центрально-Черноземном регионе России. Научное издание / И.М. Шатский, И.С. Иванов, Н.И. Переправо, В.Н. Золотарев и др. – Воронеж: ОАО «Воронежская областная типография», 2016. – 236 с.
136. Шелюто А.А. Агробиологическое обоснование технологии возделывания люцерны посевной в условиях Республики Беларусь: Дис. докт. сельскохоз. наук: 06.01.09 / А.А. Шелюто. – Горки, 2000. – 332 с.
137. Шелюто, Б.В. Биолого-технологическое обоснование приёмов повышения эффективности возделывания многолетних трав в системе

- сырьевых конвейеров в Беларуси: Автореф. дис. докт. сельскохозяйств. наук: 06.01.09 / Б.В. Шелюто. – Горки, 2010. – 42 с.
138. Шифер, К. Кормовая культура будущего? / К. Шифер, О. Штайнхельф, Б. Надь // Новое сельское хозяйство. – 2007. – № 4. – С. 74-78.
 139. Шпаар, Д. Кормовые культуры (Производство, уборка, консервирование и использование грубых кормов) / Д. Шпаар, Г. Гибелхаузен, К. Гинапп, Д. Дрегер и др. – М.: ИД ООО «Агродело», 2009. – 784 с.
 140. Шпаков, А.С. Системы кормопроизводства Центральной России: молочно-мясное животноводство / А.С. Шпаков. – М.: РАН, 2018. – 272 с.
 141. Яковлева, О.В. Фитотоксичность ионов алюминия / О.В. Яковлева // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2018. – Том 179, № 3. – С. 315-331. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-3-315-331>
 142. Acharya, J.P. Breeding alfalfa (*Medicago sativa* L.) adapted to subtropical agroecosystems / J.P. Acharya, Y. Lopez, B.T. Gouveia et al. // *Agronomy*. – 2020. – Vol. 10 (5). – P. 1–13.
 143. Adhikari, L. Nodulation response to molybdenum supplementation in alfalfa and its correlation with root and shoot growth in low pH soil / L. Adhikari, A.M. Missaoui // *Journal of Plant Nutrition*. – 2017. – Vol. 40, Is. 16. – P. 2290-2302.
 144. An, Y. Effects of organic acids on alleviation of aluminum toxicity in alfalfa / Y. An, P. Zhou // *Proceedings of the 22nd International Grassland Congress*. – 2013. – P. 151.
 145. An, Y. Effects of foliar application of organic acids on alleviation of aluminum toxicity in alfalfa / Y. An; P. Zhou, P.; Q. Xiao; D.Y. Shi, // *J. Plant Nutr. Soil Sci.* – 2014. – Vol. 177. – P. 421–430.
 146. Annicchiarico, P. Achievements and challenges in improving temperate perennial forage legumes / P. Annicchiarico, B. Barrett, E.C. Brummer et al. // *Critical Reviews in Plant Sciences*. – 2015. – Vol. 34. – P. 327–380.

147. Ariz, I. Leaf $\delta^{15}\text{N}$ as a physiological indicator of the responsiveness of N_2 -fixing alfalfa plants to elevated $[\text{CO}_2]$, temperature and low water availability / I. Ariz, C. Cruz, T. Neves et al. // *Front Plant Sci.* – 2015. – Vol. 6:574. doi: 10.3389/fpls.2015.00574
148. Barnes, R.F. Forages. Volume 1: An Introduction to Grassland Agriculture, 5th ed. / R.F Barnes, D.A. Miller, C.J. Nelson // Iowa State University Press: Ames, IA, USA, 1995.
149. Barone, P. Bacterial citrate synthase expression and soil aluminum tolerance in transgenic alfalfa / P. Barone, D. Rosellini, P. Lafayette et al. // *Plant Cell Rep.* 2008. – Vol. 27. – P. 893–901.
150. Baslam, M. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and atmospheric CO_2 concentration on the biomass production and partitioning in the forage legume alfalfa / M. Baslam, G. Erice, N. Goicoechea // *Symbiosis.* – 2012. – Vol. 58. – P. 171–181. doi: 10.1007/s13199-012-0199-6
151. Bauer, J.T. Nitrogen-fixing bacteria, arbuscular mycorrhizal fungi and the productivity and structure of prairie grassland communities / J.T. Bauer, N.M. Kleczewski, J.D. Bever, K. Clay and H.L. Reynolds // *Oecologia.* – 2012. – Vol. 170. – P. 1089-1098.
152. Berg, W.K. The Long- Term Impact of Phosphorus and Potassium Fertilization on Alfalfa Yield and Yield Components / W.K. Berg, S.M. Cunningham, S.M. Brouder, B.C. Joern, K.K. Johson. – *Crop Science.* – 2007. – Vol. 47. – P. 2198-2209.
153. Bittman, S. Responses of the bacterial and fungal biomass in a grassland soil to multi-year applications of dairy manure slurry and fertilizer / S. Bittman, T.A. Forge, C.G. Kowalenko // *Soil Biology and Biochemistry.* – 2005. – Vol. 37. – P. 613-623.
154. Boe, A. Breeding Alfalfa for Semiarid Regions in the Northern Great Plains: History and Additional Genetic Evaluations of Novel Germplasm / A. Boe,

- K.D. Kephart, J.D. Berdahl, M.D. Peel et al. // *Agronomy*. – 2020. – Vol. 10. – P. 1686; doi:10.3390/agronomy10111686
155. Bolger, T. Water-Use Efficiency and Yield of Sainfoin and Alfalfa / T. Bolger, A. Matches // *Crop Science*. – 1990. – Vol. 30(1). – P. 143-148.
 156. Bora, K.S. Phytochemical and pharmacological potential of *Medicago sativa*: a review / K.S. Bora, A. Sharma // *Pharm. Biol.* – 2011. – Vol. 49. – P. 211–220.
 157. Brambilla, S. Absence of the nitrous oxide reductase gene cluster in commercial alfalfa inoculants is probably due to the extensive loss of genes during rhizobial domestication / S. Brambilla, R. Frare, G. Soto, C. Jozefkiewicz, N. Ayub // *Microb. Ecol.* – 2018. – Vol. 76. – P. 299-302.
 158. Brauer, D. Effects of Lime and Calcium on Root Development and Nodulation of Clovers / D. Brauer, D. Ritchey, D. Belesky // *Crop Science*. – 2002. – Vol. 42. – P. 1640-1646.
 159. Brockwell, J. Soil pH is a major determinant of the numbers of naturally occurring *Rhizobium meliloti* in non-cultivated soils in central New South Wales [*Medicago* species] / J. Brockwell, A. Pilka, R.A. Holliday // *Austral. J. Exp. Agric.* – 1991. – Vol. 31. – P. 211-219.
 160. Callaghan, M.O. Microbial inoculation of seed for improved crop performance: issues and opportunities / M.O. Callaghan // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 2016. – Vol. 100. – P. 5729-5746.
 161. Coruh, I. Lucerne persistence, yield and quality as influenced by stand aging / I. Coruh, M. Tan // *New Zealand Journal of Agricultural Research*. – 2008. – Vol. 51. – P. 39-43.
 162. Cui, G. Full-length transcriptome sequencing reveals the low-temperature-tolerance mechanism of *Medicago falcata* roots / G. Cui, H. Chai, H. Yin et al. // *BMC plant biology*. – 2019. – Vol. 19, Is.1. – P. 1-16.
 163. Date, R.A. Nodulation success and persistence of recommended inoculum strains for subtropical and tropical forage legumes in Northern Australia Soil / R.A. Date // *Biol. Biochim.* – 1991. – Vol. 23, Is. 6. – P. 533-541.

164. Deak, A. Production and Nutritive Value of Grazed Simple and Complex Forage Mixtures / A. Deak, M.H. Hall, M.A. Sanderson, D.D. Archibald // *Agron. J.* – 2007. – Vol. 99. – P. 657-744.
165. Delavechia, C. Influence of pH and calcium on the growth, polysaccharide production and symbiotic association of *Sinorhizobium meliloti* SEMIA 116 with alfalfa roots/ C. Delavechia, E. Hampp, A. Fabra, S. Castro // *Biology and Fertility of Soils.* – 2003. – Vol. 38. – P. 110–114.
166. Dellagi, A. Beneficial soil-borne bacteria and fungi: A promising way to improve plant nitrogen acquisition / A. Dellagi, I. Quillere, B. Hirel // *Journal of Experimental Botany.* – 2020. – Vol. 71, Is. 15. – P. 4469–4479.
167. De Luis, I. Elevated CO₂ enhances plant growth in droughted N₂-fixing alfalfa without improving water status / I. De Luis, J. J. Irigoyen, M. Sánchez-Díaz // *Physiologia Plantarum.* – 1999. – Vol. 107, Is. 1. – P. 84-89.
168. Derner, J. Northern Plains Regional Climate Hub Assessment of Climate Change Vulnerability and Adaptation and Mitigation Strategies / J. Derner, L. Joyce, R. Guerrero, R. Steele // Anderson T., editor. United States Department of Agriculture. – 2015. – 201.
169. Dikareva S.A. Yield of yellow-flowered alfalfa (*Medicago falcata* L.) with the use of the growth regulator Albit, the microbiological fertilizer Sporion and molybdenum microfertilizer / S.A. Dikareva, E.M. Kurenkova, N.N. Lazarev // *BIO Web of Conferences.* – 2024. – Vol. 139. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413905013>
170. Dikareva S.A. Formation of grass stands of variegated alfalfa (*Medicago varia*, *M. media*) on acidic sod-podzolic soils S.A. Dikareva, N.N. Lazarev, E.M. Kurenkova, A.V. Shitikova // *BIO Web of Conferences.* – 2024. – Vol. 139. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413904011>
171. Divito, G.A. How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pasture legumes? A meta-analysis / G.A. Divito, V.O. Sadras // *Field Crops Res.* – 2014. – Vol. 156. – P. 161–171.

172. Droslom, P.N. Adapting species for mixtures / P.N. Droslom, D. Smith // Multiple cropping. In: Papendick R.I. et al. – 1976. – Madison, WI: ASA, CSSA, SSSA. – P. 223-234.
173. Dumont, B. Metaanalysis of climate change effects on forage quality in grasslands: specificities of mountain and mediterranean areas / B. Dumont, D. Andueza, V. Niderkorn et al. // Grass Forage Sci. – 2015. – Vol. 70: 239-254. doi: 10.1111/gfs.12169
174. El-Ramady, H. Sustainable biorefinery of alfalfa (*Medicago sativa* L.): A review / H. El-Ramady, N. Abdalla, S. Kovacs et al. // Egyptian Journal of Botany – 2020. – Vol. 60(3). – P. 621-639.
175. Evans, J. Nodulation of field-grown *Pisum sativum* and *Vicia faba*: competitiveness of inoculant strains of *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* determined by an indirect, competitive ELISA method / J. Evans, A. Gregory, N. Dobrowolski et al. // Soil Biol. Biochem. 1996. – Vol. 28. – P. 247-255.
176. Fageria, N.K. Fertility management of tropical acid soil for sustainable crop production / Fageria, V.C. Baligar // In: RENGEL, Z., ed. Handbook of soil acidity. New York, Marcel Dekker. – 2003. – P. 359-385.
177. Farina, M. P. W. A comparison of strategies for ameliorating subsoil acidity: I. Long-term growth effects / M.P.W. Farina, P. Channon, G.R. Thibaud // Soil Science Society of America Journal. – 2000. – Vol. **64**. – P. 646–651.
178. Fernandez, A.L. Cutting management and alfalfa stand age effects on organically grown corn grain yield and soil N availability / A. L. Fernandez, K.P. Fabrizzi, N. E. Tautges et al. // Renew. Agric. Food Syst. – 2019a. – Vol. 34. – P. 144–154.
179. Fernandez, A.L. Alfalfa, wildlife, and the environment / A.L. Fernandez, C.C. Sheaffer, N.E. Tautges et al. // National Alfalfa and Forage Alliance, 2019b.
180. Ferreira, P.A.A. Efficient nitrogen-fixing *Rhizobium* strains isolated from amazonian soils are highly tolerant to acidity and aluminum / P.A.A. Ferreira,

- C.A. Bomfeti, B.L. Soares et al. // *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2012. – Vol. 28. – P. 1947–1959.
181. Firdaous, L. Investigation of the large-scale bioseparation of an antihypertensive peptide from alfalfa white protein hydrolysate by an electromembrane process / L. Firdaous, P. Dhulster, J. Amiot et al. // *J. Memb. Sci.* – 2010. – Vol. 355. – P. 175–181.
 182. Flis, S.E. The interaction between aluminum and root-nodule bacteria / S.E. Flis, A.R. Glen, M.J. Dilworth // *Soil Biol. Biochem.* – 1993. – Vol. 25. – P. 403-417.
 183. Frame, J. Temperate Forage Legumes / J. Frame, J.F.L. Charlton, A.S. Laidlaw. – Wallingford: CAB International, 1998.
 184. Gill, U.S. Metabolic flux towards the (iso)flavonoid pathway in lignin modified alfalfa lines induces resistance against *Fusarium oxysporum* f. sp. *Medicaginis* / U.S. Gill, S.R. Uppalapati, L. Gallego-Giraldo // *Plant Cell Environ.* – 2018. – 41 (9). – P. 1997-2007. doi: 10.1111/ pce.13093.
 185. Gholami, A. Natural product biosynthesis in *Medicago* species / A. Gholami, N. De Geyter, Pollier J. et al. // *Nat prod Rep.* 2014. – Vol. 31(3). – P. 356-80.
 186. Gonzalez del Portillo, D. The adequacy of alfalfa crops as an agri-environmental scheme: A review of agronomic benefits and effects on biodiversity / D. Gonzalez del Portillo, B. Arroyo, M.B. Moralesa // *Journal for Nature Conservation.* – 2022. – Vol. 69 (2022) 126253.
 187. Gooley, F. What is the road of sustainability? / F. Gooley, J. Baudry, R.J. Berry et al. // *INTECOL Bull.* – 1992. – Vol. 20. – P. 15-20.
 188. Grewal, H. S. Liming and Cultivars Affect Root Growth, Nodulation, Leaf to Stem Ratio, Herbage Yield, and Elemental Composition of Alfalfa on an Acid Soil / H.S. Grewal, R. Williams // *Journal of Plant Nutrition.* – 2003. – Vol. 26, Is. 8. – P. 1683-1696.

189. Hall, M.H. Effect of Seeding Rate on Alfalfa Stand Longevity / M.H. Hall, C.J. Nelson, J.H. Coutts, R.C. Stout // *Agronomy Journal*. – 2004. – Vol. 96, Is. 3. – P. 717-722.
190. Haller, E. Effect of the Germinating Seed Environment on Crop Yields. I. Effect of Soil Acidity at Germination on Yields of Sweet Clover and Alfalfa / E. Haller // *Experimental Agriculture*. – 1983. – Vol. 19, Is. 1. – P. 55 – 66.
191. Halling, M.A. Aspects of the productivity of forage legumes in Northern Europe / M.A. Halling, C.F.E. Topp, C.J. Doyle // *Grass and Forage Science*. – 2004. – Vol. 59, Is. 4. – P. 331-344.
192. Hardy, R. Nitrogen fixation research: a key to world food? / R. Hardy, U. Havelka // *Science*. – 1975. – Vol. 188. – P. 633–643.
193. Hartel, P.G. Rhizobium meliloti inoculation of alfalfa selected for tolerance to acid, aluminum-rich soils / P.G. Hartel, J.H. Bouton // *Plant Soil* 1989. – Vol. 116. – P. 283–285.
194. Hasanuzzaman, M. Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses / M. Hasanuzzaman, M.B. Bhuyan, K. Nahar et al. // *Agronomy*. – 2018. – Vol. 8, 31. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030031>
195. Hassen, A. Potential use of forage-legume intercropping technologies to adapt to climate-change impacts on mixed crop-livestock systems in Africa: a review / A. Hassen, D.G. Talore, E.H. Tesfamariam et al. // *Reg Environ Change*. – 2017. – Vol. 17 (6). – P. 1713–1724.
196. Hatfield, J.L. Climate impacts on agriculture: Implications for crop production / J.L. Hatfield, K.J. Boote, B.A. Kimball // *Agron. J.* – 2011. – Vol. 103. – P. 351-370.
197. Hayes, R.C. Lime increases productivity and the capacity of lucerne (*Medicago sativa* L.) and phalaris (*Phalaris aquatica* L.) to utilise stored soil water on an acidic soil in south-eastern Australia / R.C. Hayes, G.D. Li, M.K. Conyers, J.M. Virgona et al. // *Plant and Soil*. – 2016. – Vol. 400. – P. 29–43.

198. Haynes, R. J. Soil acidification induced by leguminous crops / R.J. Haynes // Grass and Forage Science. – 1983. – Vol. 38. – P. 1–11.
199. Hawkins, C. Recent progress in alfalfa (*Medicago sativa* L.) genomics and genomic selection / C. Hawkins, L-X. Yu // Crop J. – 2018. – Vol. 6 (6) – P. 565-575. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2018.01.006>
200. He, X. A temperature induced lipocalin gene from *Medicago falcata* confers tolerance to cold and oxidative stress / X. He, M.A. Sambe, C. Zhuo, Q. Tu, Z. Guo // Plant Mol. Biol. – 2015. – Vol. 87(6). – P. 645–654.
201. Heichel, G.H. Dinitrogen fixation, nitrogen transfer and productivity of forage legume-grass communities / G.H. Heichel, K.I. Henjum // Crop Science. – 1991. – Vol. 31. – P. 202-208.
202. Hejcman, M. Origin, history, management and plant species composition of grasslands in Central Europe – a review / N. Hejcman, P. Hejcmanová, V. Pavlů, J. Beneš // Grassland – a European Resource? Book of Abstracts. 24th General Meeting of the European Grassland Federation. Lublin, Poland. – Oficyna Wydawnicza Garmond. – Poznań, 2012. – P. 39.
203. Herrmann, L. Challenges of formulation and quality of biofertilizers for successful inoculation / L. Herrmann, D. Lesueur // Appl. Microbiol. Biotech. – 2013. – Vol. 97. – P. 8859-8873.
204. Howieson, J.G. In: R.J. Wright et al. (eds.) Plant-Soil Interaction at Low pH / Howieson J.G. et al. // Kluwer Acad. Publ. Netherlands, 1991. – P. 589-595.
205. Huang, Z. Soil water storage deficit of alfalfa (*Medicago sativa*) grasslands along ages in arid area (China) / Z. Huang, Y. Liu, Z. Cui et al. // Field Crop Res. – 2018. – Vol. 221. – P. 1–6.
206. Importance of alfalfa. USDA National Agricultural Statistics Service website at <https://www.nass.usda.gov/> – 2017.
207. Ivanov, A.I. Food and agriculture organization of the United Nations statistical databases / A.I. Ivanov // Alfalfa (Lyutserna). Amerind. ФАО, 2017. <http://faostat.fao.org>

208. Janghorbani, M. Relationship of Exchangeable Acidity to Yield and Chemical Composition of Alfalfa / M. Janghorbani, S. Roberts, T.L. Jackson // *Agron J.* – 1975. – Vol. 67. – P. 350-354.
209. Jankowska-Huflejt, H. Evaluation of usefulness of forages from grasslands in livestock production in examined organic farms / H. Jankowska-Huflejt, B. Wróbel // *J. Res. Appl. Agric. Eng.* – 2008. – Vol. 53. – P. 103–108.
210. Julier, B. Lucerne (alfalfa) in European cropping systems / B. Julier, F. Gastal, G. Louran et al. // *In Legumes in Cropping Systems.* – 2017. – P. 169-192.
211. Kallenbach, R.L. Quality, and Persistence of Grazing- and Hay-Type Alfalfa under Three Harvest Frequencies / R.L. Kallenbach, C.J. Nelson, J.H. Coutts // *Agron. J.* – 2002. – Vol. 94. – P. 1094-1103.
212. Karayilanli, E. Investigation of feed value of alfalfa (*Medicago sativa* L.) harvested at different maturity stages / E. Karayilanli, V. Ayhan // *Legume Res.* – 2016. – Vol. 39 (2). – P. 237–247.
213. Katanski, S. Dry matter yield and plant density of alfalfa as affected by cutting schedule and seeding rate / S. Katanski, D. Milić, D. Karagić, S. Vasiljević et al. // *Grassland Science in Europe.* – 2018. – Vol. 23 – C. 265-267.
214. Kavut, Y.T. Yield and quality performances of various alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars in different soil textures in a Mediterranean environment / Y.T. Kavut, R. Avcioglu // *Turk J. Field Crops.* – 2015. – Vol. 20 (1). – P. 65-71.
215. Kelln, B.M. Impact of condensed tannin-containing legumes on ruminal fermentation, nutrition, and performance in ruminants: a review / B.M. Kelln, G.B. Penner, S.N. Acharya, T.A. McAllister, and H.A. Lardner // *Canadian Journal of Animal Science.* – 2020. – Vol. 101, N. 2. – P. 210-223.
216. Khalid, M. Role of flavonoids in plant interactions with the environment and against human pathogens – A review / M. Khalid, S. Rahman, M. Bilal et al. // *J. Integr. Agric.* – 2019. – Vol. 18 (1). – P. 211-230.

217. Khurana, M. Boron in Soil Plant System and Its Significance in Indian Agriculture / M. Khurana, J. Singh, V. Chhabra et al. // *Eco. Env. & Cons.* – 2022. – Vol. 28 (2) – P. 395-405.
218. Kielly, G.A. Evaluation of sainfoin-alfalfa mixtures for forage production and composition at a semi-arid location in southern Saskatchewan / G.A. Kielly; P.G. Jeerson; T. Lawrence; R.B. Irvine // *Can. J. Plant Sci.* – 1994. – Vol. 74. – P. 785–791.
219. Kingston-Smith, A.H. Breeding for genetic improvement of forage plants in relation to increasing animal production with reduced environmental footprint / A.H. Kingston-Smith, A.H. Marshall, J.M. Moorby // *Animal.* – 2013. – Vol. 7. – P. 79–88.
220. Kochian, L.V. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency / L.V. Kochian, O.A. Hoekenga, M.A. Piñeros // *Annu. Rev. Plant Biol.* – 2004. – Vol. 55. – P. 459–493.
221. Kong, J. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the drought resistance of the mining area repair plant Sainfoin / J. Kong, Z. Pei, M. Du, G. Sun et al. // *International Journal of Mining Science and Technology.* – 2014. – Vol. 24. – P. 485– 489.
222. Kulkarni, K.P. Harnessing the Potential of Forage Legumes, Alfalfa, Soybean, and Cowpea for Sustainable Agriculture and Global Food Security / K.P. Kulkarni, R. Tayade, S. Asekova et al. // *Front Plant Sci.* – 2018. – Vol. 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01314>
223. Kumar, T. The progress of genetic improvement in alfalfa (*Medicago sativa* L.) / T. Kumar, A.K. Bao, Z. Bao et al. // *Czech J. Genet. Plant Breed.* – 2018. – Vol. 54. – P. 41–51.
224. Ladha, J.K. Biological nitrogen fixation and prospects for ecological intensification in cereal-based cropping systems / J.K. Ladha, M.B. Peoples, P.M. Reddy et al. // *Field Crops Research.* – 2022. – Vol. 283. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108541>

225. Laidlaw, A.S. Effect of white clover cultivar on apparent transfer of nitrogen from clover to grass and estimation of relative turnover rates in roots / A.S. Laidlaw, P. Chrisie, H.W. Lee // *Plant and Soil*. – Vol. 179. – P. 243-253.
226. Laidlaw, A.S. Temperate forage grass-legume mixtures: advances and perspectives / A.S. Laidlaw, N. Teuber // In *Proceedings XIX International Grassland Congress, Sao Paulo, Brazil*. – 2001. – P. 85-92.
227. Lanyon, L.E. Nutrition and fertilizer use / L.E. Lanyon, W.K. Griffith. – In *Alfalfa and Alfalfa Improvement*. Eds. A.A. Hanson, D.K. Barnes and R.R. Hill. JR. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, Madison, WI. – 1988. – P. 333–372.
228. Lazarev, N.N. Productive longevity of various cultivars of alfalfa (*medicago sativa* l.) In the conditions of the central nonchernozem zone of the russian federation / N.N. Lazarev, V.A. Tyulin, E.M. Kurenkova // *Ecology, Environment and Conservation*. – 2019. – Vol. 25, Is. 4. – P. 1602-1606.
229. Lei, Y. The Use of Gene Modification and Advanced Molecular Structure Analyses towards Improving Alfalfa Forage / Y. Lei, Hannoufa A., P. Yu // *Int J Mol Sci*. – 2017. – Vol. 18 (2). doi: 10.3390/ijms18020298
230. Lissbrant, S. Impact of long-term phosphorus and potassium fertilization on alfalfa nutritive value-yield relationships / S. Lissbrant, S. Stratton, S.M. Chunningham, S.M. Brouder, J.J. Volenec // *Crop Science*. – 2009. – Vol. 49. – P. 1116–1124.
231. Liu, W. Acidity Produced by Leguminous Plants through Symbiotic Dinitrogen Fixation / W. Liu, L. J. Lund, A. L. Page // *Journal of Environmental Quality*. – 1989. – Vol.18, Is. 4. – P. 529-534.
232. Louarn, G. The amounts and dynamics of nitrogen transfer to grasses differ in alfalfa and white clover-based grass-legume mixtures as a result of rooting strategies and rhizodeposit quality / G. Louarn, E. Pereira-Lope`s, J. Fustec et al. // *Plant and Soil*. – 2015. – Vol. 389. – P. 289–305.

233. Luo, J. Using alternative forage species to reduce emissions of the greenhouse gas nitrous oxide from cattle urine deposited onto soil / J. Luo, S.F. Balvert, B. Wise et al. // *Sci Total Environ.* – 2018. – Vol. 610-611. – P. 1271–1280.
234. Luo, Y.-Z. Roots of lucerne seedlings are more resilient to a water deficit than leaves or stems / Y.-Z. Luo; H. Liu;; G. Yan et al. // *Agronomy.* – 2019. – Vol. 9. – Is. 3. <https://doi.org/10.3390/agronomy9030123>
235. Luo, Z. Soil moisture and alfalfa productivity response from different years of growth on the Loess Plateau of central Gansu / Z. Luo, Y. Niu, L. Li et al. // *Acta Prataculturae Sinica.* – 2015. – Vol. 24, Is. 1. – P. 31–38.
236. Lynch, D.H. The effects of low root zone temperature stress on two soybean *Glycine max.* genotypes when combined with *Bradyrhizobium* strains of varying geografic origin / D.H. Lynch, D.L. Smith // *Physiol. Plantar.* – 1994. – Vol. 90. – P. 105-113.
237. Lynch, J.P. Root phenotypes for improved nutrient capture: an underexploited opportunity for global agriculture / J.P. Lynch // *New Phytol.* – 2019. – Vol. 223. – P. 548–64.
238. MacAdam, J.W. Beneficial Effects of Temperate Forage Legumes that Contain Condensed Tannins / J.W. MacAdam, J.J. Villalba // *Agriculture.* – 2015. – Vol. 5. – P. 475-491.
239. Mäkineniemi, K. Optimization of the harvesting time of pure lucerne (*Medicago sativa* L.) swards in Finland / K. Mäkineniemi, M. Niskanen, M. Seppänen // *Grassland Science in Europe.* – 2016. – Vol. 21 – P. 290-292.
240. Mantovi, P. Forage production and use in the dairy farming systems of Northern Italy / P. Mantovi, A. Dal Prà, M.T. Pacchioli, M. Ligabue // *Grassland Science in Europe.* – 2015. – Vol. 20 – P. 67-77.
241. Marschner, H. Mineral Nutrition of Higher Plants / H. Marschner // Elsevier Ltd.; Academic Press: London, UK, 1995. – 899p.
242. Mattioli, S. Effect of heat- and freeze-drying treatments on phytochemical content and fatty acid profile of alfalfa and flax sprouts / S. Mattioli, A. Dal Bosco,

- C. Castellini et al. // J. Sci. Food Agric. – 2019. – Vol. 99 (8). – P. 4029-4035. doi: 10.1002/jsfa.9630.
243. McBride, M.B. Molybdenum, Sulfur, and Other Trace Elements in Farm Soils and Forages After Sewage Sludge Application / M.B. McBride, J. Cherney // Communications in Soil Science and Plant Analysis. – 2004. – Vol. 35 (3). – P. 517-535. <https://doi.org/10.1081/CSS-120029729>
244. McCaughey, W.P. Benefits of including forage legumes in pastures and their management / W.P. McCaughey, W. Chen // In Proceedings of the Western Canadian Forage and Grazing Conference, Saskatoon, SK, Canada. – 1999. – P. 8-10.
245. Mcdermott, T.R. Viability of Bradyrhizobium japonicum bacteroids / T.R. Mcdermott, P.H. Graham, D.H. Brandwein // Arch. Microbiol. – 1987. – Vol. 148. – P. 100-106.
246. McMahon, L.R. Effect of sainfoin on in vitro digestion of fresh alfalfa and bloat in steers / L.R. McMahon, W. Majak, T.A. McAllister, J.W. Hall et al. // Can. J. Anim. Sci. – 1999. – Vol. 79. – P. 203–212.
247. Medina-García, G. Global warming effect on alfalfa production in Mexico / G. Medina-García et al. // Mexican Journal of Animal Sciences. – 2020. – Vol. 11. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4686>
248. Meliss, R.A.M. Lucerne Crop in Drought-Prone Environment / R.A.M. Meliss, B. Julier, L. Pecetti et al. // CNR-ISPAAM: Portici, Italy, 2017. – 17p.
249. Mendoza-Soto, A.B. Responses of symbiotic nitrogen-fixing common bean to aluminum toxicity and delineation of nodule responsive microRNAs / A.B. Mendoza-Soto, L. Naya, A. Leija, G. Hernandez // Front. Plant Sci. – 2015. – Vol. 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00587>
250. Min, B.R. Comparative aspects of plant tannins on digestive physiology, nutrition and microbial community changes in sheep and goats: a review / B.R. Min, S. Solaiman // Journal of animal physiology and animal nutrition. – 2018. – Vol. 102, No. 5. – P. 1181-1193.

251. Miransari, M. Overcoming the stressful effects of salinity and acidity on soybean nodulation and yields using signal molecule genistein under field conditions / M. Miransari, D.J. Smith // *Plant Nutr.* – 2007. – Vol. 30. – P. 1967–1992.
252. Mohajer, S. Genetic diversity analysis of agro-morphological and quality traits in populations of sainfoin (*Onobrychis sativa*) / S. Mohajer, A. Jafari, R. Taha, J. Yaacob et al. // *Australian Journal of Crop Science.* – 2013. – Vol. 7(7). – P. 1024-1031.
253. Moore, K. Sequential Grazing of Cool- and Warm-Season Pastures / K. Moore, T.A. White, R.L. Hintz, P.K. Patrick, E.C. Brummer // *Agron. J.* – 2004. – Vol. 96. – P. 1103-1111.
254. Moreira, A. Liming influence on soil chemical properties, nutritional status and yield of alfalfa grown in acid soil / A. Moreira, N.K. Fageria // *Revista Brasileira de Ciencia do Solo Rev. Bras. Ciênc. Solo.* – 2010. – Vol. 34 (4) <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400022>
255. Mortenson, M.C. Carbon sequestration in rangelands interseeded with yellow-flowering alfalfa (*Medicago sativa* ssp. *falcata*) / M.C. Mortenson, G.E. Schuman, L.J. Ingram // *Environmental Management.* – 2004. – Vol. 33 (1). – P. S475-S481.
256. Mueller-Harvey, I. Benefits of condensed tannins in forage legumes fed to ruminants: Importance of structure, concentration, and diet composition / I. Mueller-Harvey, G. Bee, F. Dohme-Meier et al. // *Crop Science.* – 2019. – Vol. 59, No. 3. – P. 861-885.
257. Munns, D.N. Soil acidity and nodulation / D.N. Munns // In C. S. Andrew and E. J. Kamprath (ed.), *Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Melbourne, Australia.* 1978. – P. 247-263.

258. Neumann, U. Soil factors exhibit greater influence than bacterial inoculation on alfalfa growth and nitrogen fixation / U. Neumann, B. Kosier, J. Jahnke et al. // FEMS Microbiology Ecology. – 2011. – Vol. 77, Is. 3. – P. 590–599.
259. Newbould, P. The use of nitrogen fertiliser in agriculture. Where do we go practically and ecologically / P. Newbould // Plant and Soil. – 1989. – Vol. 115. – P. 297-311.
260. Norman, H.C. Improving the feeding value of dryland lucerne in Australia / H.C. Norman, S.J. Hughes, E. Hulm, A.W. Humphries et al. // Proceedings of the 22nd International Grassland Congress. – 2013. – P. 661-662.
261. O'Hara, G.W. The adaptive acid tolerance response in root nodule bacteria and *Escherichia coli* / G.W. O'Hara, A.R. Glenn // Arch. Microbiol. – 1994, – Vol. 161. – P. 286–292.
262. Ojeda-Bustamante, W. Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos / W. Ojeda-Bustamante, E. Sifuentes-Ibarra M. Íñiguez-Covarrubias, M.J. Montero-Martínez // Agrociencia. – 2011. – Vol. 45(1). – P. 1-11.
263. Oliveira, W. S. D. Alfalfa yield and quality as function of nitrogen fertilization and symbiosis with *Sinorhizobium meliloti* / W.S.D. Oliveira, P.P.A. Oliveira, M. Corsi et al. // Sci. Agric. – 2004. – Vol. 61. – P. 433–438.
264. Orloff, S.B. Alfalfa Production Systems in California / S.B. Orloff, D.H. Putnam, C.G. Summers. – 2007. – 20 p.
265. Orloff, S. Choosing appropriate sites for alfalfa production / S. Orloff // In: Irrigated Alfalfa Management for Mediterranean and Desert Zones. University of California. – 2007. – 12 p.
266. Ottman, M. Alfalfa nutrient requirements, deficiency symptoms, and fertilizer application / M. Ottman // IN Proceedings, 2010 California Alfalfa & Forage Symposium and Corn/Cereal Silage MiniSymposium, Visalia, CA, 1-2 December, 2010. UC Cooperative Extension, Plant Sciences Department, University of California, Davis, CA 95616 <http://alfalfa.ucdavis.edu>

267. Ozbilgin, A. Use of sainfoin in ruminant nutrition / A. Ozbilgin и B. Coskun // Scientific Works. Series C. Veterinary Medicine. – 2018. – Vol. 64. – No. 1. – P. 100-105.
268. Pan, X. Exploring root system architecture and anatomical variability in alfalfa (*Medicago sativa* L.) seedlings / X. Pan, P. Wang, X. Wei et al. // BMC Plant Biol. – 2023. – Vol. 23. DOI:10.1186/s12870-023-04469-4
269. Parsons, D. Alfalfa Fiber Estimation in Mixed Stands and Its Relationship to Plant Morphology / D. Parsons, J.H. Cherney, H.G.J. Gauch // Crop Sci. – 2006. – Vol. 46. – P. 2446-2452.
270. Pecetti, L. Selection of grazing-tolerant lucerne cultivars / L. Pecetti, M. Romani, L. De Rosa, E. Piano E. // Grass and Forage Science. – 2008. – Vol. 63, N. 3. – P. 360-368.
271. Peoples, M.B. Enhancing legume N₂ fixation through plant and soil management / M.B. Peoples, J.K. Ladha, D.F. Herridge // Plant and Soil. – 1995. – Vol. 174. – P. 83–101.
272. Peoples, M.B. Nitrogen dynamics of pastures: nitrogen fixation inputs, the impact of legumes on soil nitrogen fertility, and the contributions of fixed nitrogen to Australian farming systems / M. B. Peoples, J.A. Baldock // Aust. J. Exp. Agric. – 2001. – Vol. 41. – P. 327–346. doi: 10.1071/EA99139.
273. Peoples, M.B. The contributions of legumes to reducing the environmental risk of agricultural production / M.B. Peoples, H. Hauggaard-Nielsen, O. Huguenin-Elie et al. // In Agroecosystem diversity Academic Press. – 2019. – P. 123–143.
274. Putnam, D. The Importance and Benefits of Alfalfa in the 21st Century / D. Putnam, M. Russell, S. Orloff, J. Kuhn et al. – California Alfalfa and Forage Association 36 Grande Vista, Novato, CA 94947. – 2001 – 24 p.
275. Putnam, D. Alfalfa, wildlife and the environment / D. Putnam, M. Russelle, S. Orloff et al. // In: The Importance and Benefits of Alfalfa in the 21st Century. – 2001.

276. Putnam, D. Alfalfa Production Systems in California / C.G. Summers, S. Orloff
// In: Irrigated Alfalfa Management for Mediterranean and Desert Zones, 2007.
<http://anrcatalog.ucdavis.edu>.
277. Racca, R. Alfalfa symbiotic dinitrogen fixation in the Argentine Pampean Region / R. Racca, D. Basigalup, E. Brenzoni et al. // In North American Alfalfa Improvement Conference. – 1998. – Vol. 36. – P. 71-72.
278. Radović, J. Alfalfa – most important perennial forage legume in animal husbandry / J. Radović, D. Sokolović, J. Marković // Biotechnology in Animal Husbandry. – 2009. – Vol. 25. – P. 465–475.
279. Rafińska, K. Medicago sativa as a source of secondary metabolites for agriculture and pharmaceutical industry / K. Rafińska, P. Pomastowski, O. Wrona
// Phytochemistry Letters. – 2017. – Vol. 20. – P. 520–539.
doi:10.1016/j.phytol.2016.12.006
280. Rashid, M.I. Soil biota and nitrogen cycling in production grasslands with different fertilisation histories: PhD Thesis / M.I. Rashid. – Wageningen University, Wageningen, NL. – 2013. – 192 p.
281. Razmjoo, K. Effect of potassium, sulfur, boron, and molybdenum fertilization on alfalfa production and herbage macronutrient contents / K. Razmjoo, P. Henderlong // Journal of Plant Nutrition. – 1997. – Vol. 20 (12). – P. 1681-1696. DOI: 10.1080/01904169709365367
282. Rechcigl, E. Response of alfalfa grown on acid soil to different chemical amendments / E. Rechcigl, K. L. Edmisten, D. D. Wolf et al. // Agr. J. – 1988. – Vol. 80. – P. 515-518.
283. Rice, W.A. Symbiotic effectiveness of Rhizobium meliloti at low temperature / W.A. Rice, P.E. Olsen, M.M. Collins // Plant Soil. – 1995. – Vol. 170. – P. 351-358.
284. Rotz, A. Climate change and alfalfa // Progressive Forage production <https://www.agproud.com/articles/56535-climate-change-and-alfalfa-production>, 2022.

285. Ryan, J. Effect of Acidity on Germination of Some Grasses and Alfalfa J. Ryan, S. Miyamoto, J. L. Stroehlein // *Journal of Range Management*. – 1975. – Vol. 28, No. 2. – P. 154-155.
286. Samac, D. A. Plant improvement for tolerance to aluminium in acid soils – a review / D. A. Samac, M. Tesfaye // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. – 2003. – Vol. 75. – P. 189–207.
287. Sapkota, A. Boron Fertilization of Irrigated Alfalfa in Montana / A. Sapkota, E.C. Meccage, R.N. Stougaard et al. // *Forage & Turfgrass Management*. – 2018. – Vol. 4, Is. 1. – P. 1-8.
288. Saprykin, S.V. Comparative characteristics of yellow alfalfa accessions in the nursery of competitive variety testing / S.V. Saprykin, N.V. Saprykina, V.N. Zolotarev, O.N. Lyubtseva // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* – 2021. 901 012031 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/901/1/012031.
289. Schon, N. The soil invertebrate contribution to nitrogen mineralisation differs between soils under organic and conventional dairy management /N. Schon, A. Mackay, M. Hedley, M. Minor // *Biology and Fertility of Soils*. – 2012. – Vol. 48. – P. 31-42.
290. Scott, B.J. Tolerance of aluminium toxicity in annual Medicago species and Lucerne / B.J. Scott, M.A. Ewing, R. Williams et al. // *Australian Journal of Experimental Agriculture*. – 2008. – Vol. 48. – P. 499-511.
291. Segundo, E. Characterisation of symbiotically efficient alfalfa-nodulating rhizobia isolated from acid soils of Argentina and Uruguay / E. Segundo, F. Martinez-Abarca, P. van Dillewijn, M. Fernández-Loèpez et al. // *FEMS Microbiology Ecology*. – 1999. – Vol. 28 (1). – P. 169-176.
292. Sheaffer, C.C. Producing quality alfalfa – a system approach / C.C. Sheaffer, G.C. Martin // *Grass mixtures for persistence. Proceedings 16-th National Alfalfa Symposium*. Fort Wayne. March, 5-6. – 1986. – P. 14-30.
293. Sheehy, J.E. Photosynthesis, Water Relations, Temperature and Canopy Structure as Factors Influencing the Growth of Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*

- Scop.) and Lucerne (*Medicago sativa* L.) / J.E. Sheehy, C.S. Popple // *Annals of Botany*. – 1981. – Vol. 48, Is. 2. – P. 113–128.
294. Singer, S.D. Identification of Differential Drought Response Mechanisms in *Medicago sativa* subsp. *sativa* and *falcata* through Comparative Assessments at the Physiological, Biochemical, and Transcriptional Levels / S.D. Singer, U. Subedi, M. Lehmann, K. Burton Hughes et al. // *Plants*. – 2021. – Vol. 10, 2107. <https://doi.org/10.3390/plants10102107>
295. Slepetys, J. Perennial legume swards for organic farming system in Lithuania / J. Slepetys, A. Slepetiene // *Proceedings of the 22nd International Grassland Congress*. – 2013. – C. 313-314.
296. Sleugh, B. Binary legume-grass mixtures improve forage yield, quality, and seasonal distribution / B. Sleugh, K.J. Moore, J.R. George, E.C. Brummer // *Agron. J.* – 2000. – Vol. 92. – P. 24-29.
297. Smith, D. Influence of Temperature on the Yield and Chemical Composition of 'Vernal' Alfalfa at First Flower 1. / D. Smith // *Agron. J.* – 1969. – Vol. 61 (3). – P. 470–472.
298. Smith, L. Optimising plant polyphenols in legumes for ruminant nutrition plus health plus environmental sustainability / L. Smith // *LegumePlus*. – 2011. http://www.niab.com/pages/id/385/Legume_Plus.
299. Smith, L.C. Nutrient requirement for irrigated Lucerne in Central Otago / L.C. Smith, K.D. Trainor, J.D. Morton // *Proc. N. Z. Grassl. Assoc.* – 2014. – Vol. 76. – P. 97–104.
300. Sölter, U. Seasonal changes in herbage mass and nutritive value of a range of grazed legume swards under Mediterranean and cool temperate conditions / U. Sölter, A. Hopkins, M. Sitzia, J.P. Goby et al. // *Grass and Forage Science*. – 2007 – Vol. 62. – P. 372-388.
301. Spandl, E. Forage quality and alfalfa characteristics in binary mixtures of alfalfa and brome grass or timothy / E. Spandl, O.B. Hesterman // *Crop Sci.* – 1997. – Vol. 37. – N 5. – P. 1581-1585.

302. Stagnari, F. Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview / F. Stagnari, A. Maggio, A. Galieni, M. Pisante // *Chem. Biol. Technol. Agric.* – 2017. – Vol. 4:2. DOI:10.1186/s40538-016-0085-1
303. Summers, C.G. Irrigated alfalfa management for Mediterranean and desert zones / C. G. Summers, D. H. Putnam // *UCANR Publications.* – 2007. – 7p.
304. Suwignyo, B. The profile of tropical alfalfa in Indonesia: A review / B. Suwignyo, E.A. Rini, S. Helmiyati // *Saudi Journal of Biological Sciences.* – 2023. – Vol. 30, Is. 1. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103504>.
305. Thivierge, M.-N. Forage crop yield and nutritive value under climate change in Canada / M.-N. Thivierge, G. Jégo, G. Bélanger, A. Bertrand et al. // *Grassland Science in Europe.* – 2016. – Vol. 21. – P. 826-828.
306. Tongel, M.O. Nutritional contents and yield performances of Lucerne (*Medicago sativa* L.) cultivars in Southern Black Sea shores / M.O. Tongel, I. Ayan // *J. Animal Veterinary Adv.* – 2010. – Vol. 9 (15). – P. 2067–2073.
307. Trinick, M.J. Biology / M.J. Trinick // In W.J. Broughton (ed.) *Nitrogen Fixation. Rhizobium.* Clarence Press, Oxford, England. – 1982. – Vol. 2. – R 76-R146.
308. Undersander, D. Economic importance, practical limitations to production, management, and breeding targets of alfalfa / D. Undersander // In: Yu L X, Kole C, eds. *The Alfalfa Genome. Compendium of Plant Genomes.* Cham: Springer, 2021. – P. 1–11.
309. Van Eekeren, N. Soil biological quality of grassland fertilized with adjusted cattle manure slurries in comparison with organic and inorganic fertilizers / N. Van Eekeren, H. de Boer, J. Bloem et al. // *Biology and Fertility of Soils.* – 2009. – Vol. 45. – P. 595-608.
310. Van Wambeke, A. Formation, distribution and consequences of acid soils in agricultural development / A. Van Wambeke // In M. J. Wright (ed.), *Plant adaptation to mineral stress.* Cornell University Agricultural Experiment Station, Ithaca, N.Y. 1976. – P. 15-24.

311. Vance, C.P. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in the world of declining renewable resources / C.P. Vance // *Plant Physiol.* – 2001. – Vol. 127. – P. 390-397.
312. Volenec, J.J. Yield components, plant morphology, and forage quality of alfalfa as influenced by plant population / J.J. Volenec, J.H. Cherney, K.D. Johnson // *Crop Sci.* – 1987. – Vol. 27. – P. 321-326.
313. Wallenhammar, A.C. Production capacity of forage legumes and persistence to root rot in organic mixed swards / A.C. Wallenhammar, E. Stoltz, Z. Omer, A. Granstedt // *Grassland Science in Europe.* – 2018. – Vol. 23 – P. 375-377.
314. Walworth, J.L. Alfalfa response to lime, phosphorus, potassium, magnesium, and molybdenum on acid ultisols / J.L. Walworth, M.E. Sumner // *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* – 1990. Vol. 24 (3) – P. 167-172.
315. Wani, S.P. Sustainable agriculture in the semi-arid tropics through biological nitrogen fixation in grain legumes / S.P. Wani, O.P. Rupela, K.K. Lee // *Plant Soil.* – 1995. – Vol. 174. – P. 29–49.
316. West, C.P. Nitrogen transfer from legume to grass / C.P. West, A.P. Mallarino // *Conference on Nutrient Cycling in Forage Systems.* 7-8 March, 1996. Columbia, MO.
317. Westhoek, A. Policing the Legume-Rhizobium symbiosis: a critical test of partner choice / A. Westhoek, E. Field, F. Rehling et al. // *Sci Rep.* – 2017. – Vol. 7(1). doi: 10.1038/s41598-017-01634-2.
318. Zhang, C. Drought tolerance in alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties is associated with enhanced antioxidative protection and declined lipid peroxidation / C. Zhang, S. Shi, Z. Liu, F. Yang et al. // *J. Plant Physiol.* – 2019. – Vol. 232. – P. 226-240.
319. Zielewicz, W. Mutual Effect of Gypsum and Potassium on Nutrient Productivity in the Alfalfa–Grass Sward // W. Zielewicz, W. Grzebisz, M. Biber // *Plants.* – 2023. – Vol. 12 (12). <https://doi.org/10.3390/plants12122250>.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Ботанический состав травостоев в опыте 1 в 2022 г., в %

Вариант	Люцерна	Злаки	Разнотравье
Фестулолиум сорт Фест			
	0	97,5	2,5
Люцерна изменчивая сорт Агния			
Контроль	96,4	0	3,6
Альбит	98,4	0	1,6
Спорион	97,2	0	2,8
Молибдат аммония	93,5	0	6,5
Люцерна изменчивая сорт Таисия			
Контроль	95,4	0	4,6
Альбит	95,5	0	4,5
Спорион	98,1	0	1,9
Молибдат аммония	95,4	0	4,6
Люцерна желтая сорт Нижегородская			
Контроль	95,1	0	4,9
Альбит	97,1	0	2,9
Спорион	98,3	0	1,7
Молибдат аммония	96,3	0	3,7

Приложение Б

Ботанический состав травостоев в опыте 1 в 1-ом укосе 2023 г., в %

Вариант	Люцерна	Злаки	Разнотравье
Фестулолиум сорт Фест			
	0	89,9	10,1
Люцерна изменчивая сорт Агния			
Контроль	91,7	1,3	7,0
Альбит	89,4	1,7	8,9
Спорион	93,7	0,6	5,7
Молибдат аммония	92,2	0,8	7,0
Люцерна изменчивая сорт Таисия			
Контроль	90,5	1,1	8,4
Альбит	91,9	0,6	7,5
Спорион	90,8	0,9	8,3
Молибдат аммония	95,0	1,4	3,6
Люцерна желтая сорт Нижегородская			
Контроль	92,2	0	7,8
Альбит	93,6	0,6	5,8
Спорион	94,4	0,7	4,9
Молибдат аммония	97,7	0,9	1,4

Приложение В

Ботанический состав травостоев в опыте 1 во 2-ом укосе 2023 г., в %

Вариант	Люцерна	Злаки	Разнотравье
Фестулолиум сорт Фест			
	0	85,5	14,5
Люцерна изменчивая сорт Агния			
Контроль	92,4	1,8	5,8
Альбит	92,0	0,2	7,8
Спорион	96,0	0,2	3,8
Молибдат аммония	93,8	0,5	5,7
Люцерна изменчивая сорт Таисия			
Контроль	89,2	0,3	10,5
Альбит	94,8	0,5	4,7
Спорион	93,2	0	6,8
Молибдат аммония	94,3	0,4	5,3
Люцерна желтая сорт Нижегородская			
Контроль	99,8	0	0,2
Альбит	98,8	0,4	0,8
Спорион	96,6	0,8	3,6
Молибдат аммония	95,9	0,9	3,2

Приложение Г

Ботанический состав травостоев в опыте 1 в 3-ем укосе 2023 г., в %

Вариант	Люцерна	Злаки	Разнотравье
Фестулолиум сорт Фест			
	0	84,7	15,3
Люцерна изменчивая сорт Агния			
Контроль	87,0	1,8	11,2
Альбит	92,6	0	7,4
Спорион	87,4	1,5	11,1
Молибдат аммония	83,4	1,9	14,7
Люцерна изменчивая сорт Таисия			
Контроль	90,1	0,5	9,4
Альбит	94,8	0,6	4,6
Спорион	90,7	1,0	8,3
Молибдат аммония	89,8	1,3	8,9
Люцерна желтая сорт Нижегородская			
Контроль	91,6	1,0	7,4
Альбит	90,3	0,4	9,3
Спорион	88,2	1,4	10,4
Молибдат аммония	88,5	1,5	10,0

Приложение Д

Ботанический состав травостоев в опыте 1 в 1-ом укосе 2024 г., в %

Вариант	Люцерна	Злаки	Разнотравье
Фестулолиум сорт Фест			
	0	87,8	12,2
Люцерна изменчивая сорт Агния			
Контроль	93,2	0,7	6,1
Альбит	93,1	0,9	6,0
Спорион	89,6	1,3	9,1
Молибдат аммония	86,4	1,8	11,8
Люцерна изменчивая сорт Таисия			
Контроль	88,6	0,7	10,7
Альбит	83,1	1,6	15,3
Спорион	98,3	0,4	1,3
Молибдат аммония	93,5	1,0	5,5
Люцерна желтая сорт Нижегородская			
Контроль	97,9	0,3	1,8
Альбит	97,4	0,7	1,9
Спорион	97,9	1,0	1,1
Молибдат аммония	92,9	1,8	5,3

Приложение Е

Ботанический состав травостоев в опыте 1 во 2-ом укосе 2024 г., в %

Вариант	Люцерна	Злаки	Разнотравье
Фестулолиум сорт Фест			
	0,0	75,0	25,0
Люцерна изменчивая сорт Агния			
Контроль	80,5	1,1	18,4
Альбит	82,8	2,1	15,1
Спорион	92,1	0,7	7,2
Молибдат аммония	81,9	3,3	14,8
Люцерна изменчивая сорт Таисия			
Контроль	83,4	1,0	15,6
Альбит	86,6	0,8	12,6
Спорион	87,9	0,7	11,4
Молибдат аммония	89,6	0,9	9,5
Люцерна желтая сорт Нижегородская			
Контроль	81,1	0,6	18,3
Альбит	82,9	0,7	16,4
Спорион	86,5	0,6	12,9
Молибдат аммония	82,4	1,8	15,8

Приложение Ж

Ботанический состав травостоев в опыте 1 в 3-ем укосе 2024 г., в %

Вариант	Люцерна	Злаки	Разнотравье
Фестулолиум сорт Фест			
	0	64,3	35,7
Люцерна изменчивая сорт Агния			
Контроль	94,9	0	5,1
Альбит	98,0	0	2,0
Спорион	99,9	0	0,1
Молибдат аммония	99,0	0,1	0,9
Люцерна изменчивая сорт Таисия			
Контроль	96,2	0,3	3,5
Альбит	92,0	0,4	7,6
Спорион	99,8	0	0,2
Молибдат аммония	99,8	0	0,2
Люцерна желтая сорт Нижегородская			
Контроль	85,3	0,7	14,0
Альбит	89,4	1,3	9,3
Спорион	92,3	0,6	6,5
Молибдат аммония	92,3	0,8	6,9

Приложение 3

Динамика густоты растений люцерны и фестулолиума, шт. растений на 1 м²

Вариант	2022 г.		2023 г.		2024 г.	
	весна	осень	весна	осень	весна	осень
Фестулолиум сорт Фест						
	122	115	110	108	99	97
Люцерна изменчивая сорт Агния						
Контроль	344	180	166	134	127	111
Альбит	352	186	164	142	133	119
Спорион	334	174	168	144	123	121
Молибдат аммония	365	187	173	139	134	112
Люцерна изменчивая сорт Таисия						
Контроль	351	176	163	137	132	115
Альбит	346	182	172	144	135	118
Спорион	357	179	175	156	129	122
Молибдат аммония	377	180	169	150	136	114
Люцерна желтая сорт Нижегородская						
Контроль	376	178	170	160	142	117
Альбит	398	185	182	168	147	121
Спорион	387	189	177	157	143	125
Молибдат аммония	401	194	181	154	149	129
НСР ₀₅	39	15	16	13	12	9

Приложение И

Количество побегов люцерны в агрофитоценозах на третий год жизни,
шт. на 1 м²

Вариант	1-ый укос	2-ой укос	3-ий укос
Фестулолиум сорт Фест			
	1915	952	720
Люцерна изменчивая сорт Агния			
Контроль	741	836	712
Альбит	799	924	728
Спорион	764	892	784
Молибдат аммония	743	852	780
Люцерна изменчивая сорт Таисия			
Контроль	915	820	736
Альбит	947	872	744
Спорион	875	804	730
Молибдат аммония	928	876	746
Люцерна желтая сорт Нижегородская			
Контроль	997	944	804
Альбит	1051	1012	984
Спорион	1033	968	932
Молибдат аммония	1042	1004	848
НСР ₀₅	66	77	70

Высота фестулолиума и люцерны в 2022 и 2023 гг., в см

Вариант	2022 г.	2023 г.		
	1-ый укос	1-ый укос	2-ой укос	3-ий укос
Фестулолиум сорт Фест				
	33,2	32,4	65,3	36,3
Люцерна изменчивая сорт Агния				
Контроль	51,6	48,1	54,5	73,8
Альбит	52,7	47,4	54,4	74,5
Спорион	53,1	49,6	56,1	74,7
Молибдат аммония	54,1	51,4	58,8	77,4
Люцерна изменчивая сорт Таисия				
Контроль	55,9	48,0	54,2	77,4
Альбит	53,6	51,1	54,4	78,5
Спорион	55,5	50,6	55,4	78,8
Молибдат аммония	56,7	52,2	57,8	82,2
Люцерна желтая сорт Нижегородская				
Контроль	53,0	47,3	54,7	66,1
Альбит	53,7	48,1	55,9	66,8
Спорион	55,4	46,8	55,1	68,2
Молибдат аммония	54,3	49,6	56,8	70
НСП ₀₅	4,9	4,1	5,1	6,3

Приложение Л

Урожайность люцерны и фестулолиума в опыте 1 в 2022-2024 гг., т/га
сухого вещества

Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.	В среднем
Фестулолиум сорт Фест				
	0,39	3,34	2,77	2,16
Люцерна изменчивая сорт Агния				
Контроль	2,29	8,24	8,98	6,50
Альбит	2,32	8,34	10,1	6,92
Спорион	2,40	8,25	9,32	6,66
Молибдат аммония	2,52	8,71	9,98	7,07
Люцерна изменчивая сорт Таисия				
Контроль	2,32	8,33	9,24	6,63
Альбит	2,55	8,56	10,3	7,13
Спорион	2,67	8,29	10,0	6,99
Молибдат аммония	2,52	8,50	9,66	6,89
Люцерна желтая сорт Нижегородская				
Контроль	2,41	7,94	8,86	6,40
Альбит	2,71	8,22	9,01	6,65
Спорион	2,69	8,15	9,48	6,77
Молибдат аммония	2,49	8,56	9,30	6,78
НСР ₀₅	0,26	0,50	0,44	0,25

Приложение М

Урожайность травостоев в опыте 1 в 2022 году по повторностям,
т/га сухой массы

Вариант	Повторность		
	1	2	3
Фестулолиум сорт Фест			
	0,37	0,39	0,41
Люцерна изменчивая сорт Агния			
Контроль	2,29	2,16	2,42
Альбит	2,32	2,52	2,13
Спорион	2,45	2,29	2,48
Молибдат аммония	2,40	2,50	2,65
Люцерна изменчивая сорт Таисия			
Контроль	2,71	2,22	2,02
Альбит	2,64	2,38	2,64
Спорион	2,29	2,16	2,42
Молибдат аммония	2,48	2,44	2,63
Люцерна желтая сорт Нижегородская			
Контроль	2,45	2,29	2,48
Альбит	2,84	2,45	2,84
Спорион	2,47	2,57	3,03
Молибдат аммония	2,38	2,62	2,47

Таблица дисперсионного анализа

Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	12,92903	12	1,077419	34,34074	7,31E-13	2,147926
Внутри групп	0,815733	26	0,031374			
Итого	13,74476	38				

Урожайность травостоев в опыте 1 в 2023 году по повторностям,
т/га сухой массы

Вариант	Повторность		
	1	2	3
Фестулолиум сорт Фест			
	3,64	3,07	3,29
Люцерна изменчивая сорт Агния			
Контроль	8,30	8,58	7,82
Альбит	9,00	8,16	7,85
Спорион	8,79	7,91	8,06
Молибдат аммония	8,91	9,05	8,17
Люцерна изменчивая сорт Таисия			
Контроль	8,37	8,48	8,15
Альбит	8,80	8,29	8,59
Спорион	8,52	7,77	8,58
Молибдат аммония	9,06	8,26	8,19
Люцерна желтая сорт Нижегородская			
Контроль	7,93	7,99	7,89
Альбит	8,41	8,16	8,09
Спорион	8,28	8,34	7,84
Молибдат аммония	8,76	8,49	8,44

Таблица дисперсионного анализа

Дисперсионный анализ

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	70,93699	12	5,91141	45,36327	2,53E-14	2,147926
Внутри групп	3,388133	26	0,13031			
Итого	74,32512	38				

Урожайность травостоев в опыте 1 в 2024 году по повторностям,
т/га сухой массы

Вариант	Повторность		
	1	2	3
Фестулолиум сорт Фест			
	2,77	2,71	2,89
Люцерна изменчивая сорт Агния			
Контроль	9,08	8,77	9,09
Альбит	10,10	10,63	9,58
Спорион	9,32	9,17	9,46
Молибдат аммония	9,98	9,49	10,47
Люцерна изменчивая сорт Таисия			
Контроль	9,29	8,89	9,45
Альбит	10,28	10,00	10,56
Спорион	10,00	9,59	10,48
Молибдат аммония	9,95	9,27	9,76
Люцерна желтая сорт Нижегородская			
Контроль	8,88	8,70	9,01
Альбит	10,28	10,00	10,56
Спорион	10,00	9,59	10,48
Молибдат аммония	9,21	9,16	9,53

Таблица дисперсионного анализа

Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	139,6503	12	11,63753	107,8496	5,24E-19	2,147926
Внутри групп	2,805533	26	0,107905			
Итого	142,4559	38				

Урожайность травостоев в опыте 1 в среднем за 2022-2024 гг. по
повторностям, т/га сухой массы

Вариант	Повторность		
	1	2	3
Фестулолиум сорт Фест			
	2,26	2,06	2,20
Люцерна изменчивая сорт Агния			
Контроль	6,58	6,47	6,55
Альбит	7,27	7,00	6,48
Спорион	6,88	6,51	6,58
Молибдат аммония	7,12	6,99	7,09
Люцерна изменчивая сорт Таисия			
Контроль	6,64	6,66	6,47
Альбит	7,24	6,89	7,26
Спорион	7,07	6,69	7,22
Молибдат аммония	7,14	6,68	6,87
Люцерна желтая сорт Нижегородская			
Контроль	6,41	6,31	6,46
Альбит	6,75	6,64	6,55
Спорион	6,82	6,74	6,76
Молибдат аммония	6,78	6,76	6,81

Таблица дисперсионного анализа

Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	60,56435	12	5,047029	156,0442	4,79E-21	2,147926
Внутри групп	0,840933	26	0,032344			
Итого	61,40529	38				

Ботанический состав травостоев в опыте 2 в 2023 г., в %

Вариант	Сеяные бобовые	Несеяные бобовые	Злаки	Разнотравье
Фестулолиум сорт Фест				
	0	5,9	70,8	23,3
Люцерна изменчивая сорт Агния				
Контроль	56,0	4,6	28,4	11,0
Альбит	53,7	4,2	29,5	12,6
Спорион	56,0	5,0	30,3	8,7
Аквамикс	72,6	5,6	14,7	7,1
Аквамикс + Альбит	72,9	3,9	16,9	6,3
Аквамикс + Спорион	65,9	4,1	22,3	7,7
Люцерна изменчивая сорт Таисия				
Контроль	59,0	3,6	26,8	10,6
Альбит	58,8	3,1	28,7	9,4
Спорион	55,3	4,8	31,1	8,8
Аквамикс	58,4	3,9	30,2	7,5
Аквамикс + Альбит	63,0	5,0	25,9	6,1
Аквамикс + Спорион	65,4	4,7	24,0	5,9
Эспарцет песчаный сорт Павловский				
Контроль	23,3	7,4	38,6	30,7
Альбит	30,5	8,1	33,8	27,6
Спорион	32,4	7,9	34,2	25,5
Аквамикс	34,0	8,0	33,9	24,1
Аквамикс + Альбит	32,5	5,2	36,0	26,3
Аквамикс + Спорион	34,9	9,0	31,3	24,8

Приложение С

Ботанический состав травостоев в опыте 2 в 1-ом укосе 2024 г., в %

Вариант	Сеяные бобовые	Несеяные бобовые	Злаки	Разнотравье
Фестулолиум сорт Фест				
	0	5,5	73,6	20,9
Люцерна изменчивая сорт Агния				
Контроль	82,4	3,7	3,5	10,4
Альбит	85,5	2,6	4,5	7,4
Спорион	84,1	4,9	5,8	5,2
Аквамикс	90,7	4,8	1,6	3,1
Аквамикс + Альбит	92,6	3,7	0,2	2,5
Аквамикс + Спорион	93,1	3,3	0,4	3,2
Люцерна изменчивая сорт Таисия				
Контроль	80,2	1,7	5,5	12,6
Альбит	91,5	2,6	3,7	2,2
Спорион	84,9	3,8	5,1	6,2
Аквамикс	86,9	4,2	4,8	4,1
Аквамикс + Альбит	91,1	5,1	2,6	1,2
Аквамикс + Спорион	94,0	1,0	2,2	2,8
Эспарцет песчаный сорт Павловский				
Контроль	62,9	4,3	6,1	26,7
Альбит	61,6	5,2	4,4	28,8
Спорион	66,2	4,0	4,3	25,5
Аквамикс	69,3	5,7	0,3	24,7
Аквамикс + Альбит	75,2	5,8	1,1	17,9
Аквамикс + Спорион	72,6	5,1	2,8	19,5

Приложение Т

Ботанический состав травостоев в опыте 2 во 2-ом укосе 2024 г., в %

Вариант	Сеяные бобовые	Несеяные бобовые	Злаки	Разнотравье
Фестулолиум сорт Фест				
	0	7,8	70,2	22,0
Люцерна изменчивая сорт Агния				
Контроль	87,3	1,4	2,7	8,6
Альбит	82,9	2,7	5,9	8,5
Спорион	87,9	3,2	2,3	6,6
Аквамикс	90,5	4,1	2,6	2,8
Аквамикс + Альбит	92,7	3,3	1,9	2,1
Аквамикс + Спорион	90,9	1,4	3,8	3,9
Люцерна изменчивая сорт Таисия				
Контроль	86,3	1,8	1,6	10,3
Альбит	91,0	2,5	0,9	5,6
Спорион	91,0	3,7	2,2	3,1
Аквамикс	99,3	0,4	0	0,3
Аквамикс + Альбит	94,4	2,7	0,7	2,2
Аквамикс + Спорион	99,2	0,3	0	0,5
Эспарцет песчаный сорт Павловский				
Контроль	66,3	7,7	2,0	24,0
Альбит	72,7	5,1	1,9	20,3
Спорион	67,1	6,8	4,8	21,3
Аквамикс	65,8	5,2	5,6	23,4
Аквамикс + Альбит	64,2	7,0	6,1	22,7
Аквамикс + Спорион	65,7	5,8	5,3	23,2

Приложение У

Ботанический состав травостоев в опыте 2 в 3-ем укосе 2024 г., в %

Вариант	Сеяные бобовые	Несеяные бобовые	Злаки	Разнотравье
Фестулолиум сорт Фест				
	0	4,3	67,2	28,5
Люцерна изменчивая сорт Агния				
Контроль	86,7	3,0	0,4	9,9
Альбит	87,5	3,6	1,7	7,2
Спорион	88,0	4,1	2,0	5,9
Аквамикс	94,9	2,9	0,2	2,0
Аквамикс + Альбит	91,5	3,3	2,1	3,1
Аквамикс + Спорион	94,4	1,9	1,2	2,5
Люцерна изменчивая сорт Таисия				
Контроль	82,7	2,6	4,9	9,8
Альбит	89,6	3,4	1,6	5,6
Спорион	87,0	3,0	2,7	7,3
Аквамикс	88,9	2,8	3,6	4,7
Аквамикс + Альбит	90,1	1,5	4,3	4,1
Аквамикс + Спорион	93,6	1,7	2,2	2,5
Эспарцет песчаный сорт Павловский				
Контроль	58,2	5,4	8,8	27,6
Альбит	69,4	6,9	5,0	18,7
Спорион	62,9	5,5	7,2	24,4
Аквамикс	67,1	6,1	6,6	20,2
Аквамикс + Альбит	62,7	8,7	7,1	21,5
Аквамикс + Спорион	64,8	7,3	6,7	21,2

Приложение Ф

Густота люцерны изменчивой и эспарцета песчаного перед уходом в зимовку,
шт. побегов на 1 м²

	Люцерна изменчивая сорт Агния		Люцерна изменчивая сорт Таисия		Эспарцет песчаный сорт Павловский	
	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	376	110	384	112	250	47
Альбит	372	128	403	125	265	48
Спорион	379	125	440	121	263	53
Аквамикс	414	130	418	128	272	59
Аквамикс + Альбит	400	129	422	133	257	56
Аквамикс + Спорион	437	135	446	139	260	55
НСР ₀₅	40	14	40	14	40	14

Приложение Х

Количество побегов люцерны изменчивой и эспарцета песчаного, шт. на 1 м²

Вариант	2023 г.	2024 г.		
	1-ый укос	1-ый укос	2-ой укос	3-ий укос
Люцерна изменчивая сорт Агния				
Контроль	1108	948	1100	579
Альбит	1069	1021	1194	659
Спорион	1116	1090	1135	719
Аквамикс	1137	983	1144	736
Аквамикс + Альбит	1043	893	1170	696
Аквамикс + Спорион	1226	996	1280	664
Люцерна изменчивая сорт Таисия				
Контроль	1085	952	983	602
Альбит	1045	1102	1227	679
Спорион	1217	1046	1283	708
Аквамикс	1041	1090	1277	710
Аквамикс + Альбит	1215	1133	1326	775
Аквамикс + Спорион	1284	1126	1415	733
Эспарцет песчаный сорт Павловский				
Контроль	513	284	339	232
Альбит	619	277	456	238
Спорион	605	309	466	272
Аквамикс	570	308	425	248
Аквамикс + Альбит	534	273	448	257
Аквамикс + Спорион	564	276	414	260
НСР ₀₅	64	75	87	72

Приложение Ц

Урожайность люцерны изменчивой и эспарцета песчаного, т/га сухой массы

Вариант	2023 г.	2024 г.				В среднем за 2023-2024 гг.
	1-ый укос	1-ый укос	2-ой укос	3-ий укос	за 3 укоса	
Люцерна изменчивая сорт Агния						
Контроль	2,58	2,64	2,06	1,37	6,07	4,33
Альбит	2,59	2,86	2,36	1,56	6,78	4,69
Спорион	2,64	2,91	2,11	1,22	6,24	4,44
Аквамикс	2,61	2,76	2,43	1,53	6,72	4,67
Аквамикс + Альбит	2,61	2,82	2,79	1,29	6,90	4,76
Аквамикс + Спорион	2,82	3,39	2,63	1,55	7,57	5,20
Люцерна изменчивая сорт Таисия						
Контроль	2,47	2,61	1,95	1,53	6,09	4,28
Альбит	2,61	3,22	2,38	1,49	7,09	4,85
Спорион	2,69	2,99	2,07	1,44	6,50	4,60
Аквамикс	2,70	3,08	2,28	1,43	6,79	4,75
Аквамикс + Альбит	2,65	3,22	2,67	1,59	7,48	5,07
Аквамикс + Спорион	2,76	3,30	2,78	1,54	7,62	5,19
Эспарцет песчаный сорт Павловский						
Контроль	1,73	1,30	1,22	1,16	3,68	2,71
Альбит	1,70	1,56	1,32	1,09	3,97	2,84
Спорион	1,68	1,47	1,27	0,89	3,63	2,66
Аквамикс	1,64	1,29	1,32	1,05	3,57	2,61
Аквамикс + Альбит	1,81	1,47	1,22	1,08	3,77	2,79
Аквамикс + Спорион	1,67	1,38	1,12	1,18	3,69	2,68
НСР ₀₅	0,15	0,24	0,20	0,20	0,36	0,20

Приложение Ч

Урожайность травостоев в опыте 2 в 2023 году по повторностям,
т/га сухой массы

Вариант	Повторность			
	1	2	3	4
Фестулолиум				
	1,31	1,18	1,19	1,36
Люцерна изменчивая сорт Агния				
Контроль	2,61	2,41	2,52	2,76
Альбит	2,60	2,54	2,58	2,63
Спорион	2,68	2,60	2,57	2,69
Аквамикс	2,53	2,72	2,58	2,60
Аквамикс + Альбит	2,67	2,51	2,60	2,67
Аквамикс + Спорион	2,80	2,88	2,72	2,88
Люцерна изменчивая сорт Таисия				
Контроль	2,49	2,34	2,51	2,54
Альбит	2,46	2,58	2,50	2,88
Спорион	2,82	2,63	2,52	2,78
Аквамикс	2,74	2,68	2,63	2,75
Аквамикс + Альбит	2,62	2,59	2,78	2,62
Аквамикс + Спорион	2,78	2,60	2,74	2,90
Эспарцет песчаный сорт Павловский				
Контроль	1,74	1,54	1,83	1,82
Альбит	1,70	1,70	1,54	1,84
Спорион	1,73	1,66	1,71	1,60
Аквамикс	1,94	1,49	1,60	1,51
Аквамикс + Альбит	1,88	1,71	1,78	1,88
Аквамикс + Спорион	1,68	1,69	1,68	1,63

Таблица дисперсионного анализа

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	18,87898	18	1,048832	86,76526	9,88E-35	1,787809
Внутри групп	0,689025	57	0,012088			
Итого	19,568	75				

Приложение III

Урожайность травостоев в опыте 2 в 2024 году по повторностям,
т/га сухой массы

Вариант	Повторность			
	1	2	3	4
Фестулолиум сорт Фест				
	3,27	2,93	3,02	2,96
Люцерна изменчивая сорт Агния				
Контроль	5,77	5,9	6,52	6,09
Альбит	6,96	6,86	6,41	6,88
Спорион	6,15	6,14	6,36	6,29
Аквамикс	7,04	6,26	6,52	7,05
Аквамикс + Альбит	6,93	6,99	7,1	6,56
Аквамикс + Спорион	6,3	6,1	5,87	6,05
Люцерна изменчивая сорт Таисия				
Контроль	7,57	7,72	7,33	7,62
Альбит	7,11	7,07	7,05	7,13
Спорион	6,34	6,45	6,81	6,38
Аквамикс	7	6,79	7,1	6,29
Аквамикс + Альбит	7,28	7,76	7,37	7,5
Аквамикс + Спорион	7,11	7,8	7,69	7,9
Эспарцет песчаный сорт Павловский				
Контроль	3,7	3,75	3,25	4,01
Альбит	4,36	4,25	3,59	3,66
Спорион	3,48	3,98	3,37	3,79
Аквамикс	3,65	3,47	3,63	3,52
Аквамикс + Альбит	3,62	4,03	3,86	3,55
Аквамикс + Спорион	3,78	3,75	3,6	3,64

Таблица дисперсионного анализа

<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Между группами	195,4717	18	10,85954	169,4226	9,65E-43	1,787809
Внутри групп	3,65355	57	0,064097			
Итого	199,1253	75				

Урожайность травостоев в опыте 2 в среднем за 2023-2024 гг. по
повторностям, т/га сухой массы

Вариант	Повторность			
	1	2	3	4
Фестулолиум сорт Фест				
	2,29	2,06	2,11	2,16
Люцерна изменчивая сорт Агния				
Контроль	4,19	4,16	4,52	4,43
Альбит	4,78	4,70	4,50	4,76
Спорион	4,42	4,37	4,47	4,49
Аквамикс	4,79	4,49	4,55	4,83
Аквамикс + Альбит	4,80	4,75	4,85	4,62
Аквамикс + Спорион	4,55	4,49	4,30	4,47
Люцерна изменчивая сорт Таисия				
Контроль	5,03	5,03	4,92	5,08
Альбит	4,79	4,83	4,78	5,01
Спорион	4,58	4,54	4,67	4,58
Аквамикс	4,87	4,74	4,87	4,52
Аквамикс + Альбит	4,95	5,18	5,08	5,06
Аквамикс + Спорион	4,95	5,20	5,22	5,40
Эспарцет песчаный сорт Павловский				
Контроль	2,72	2,65	2,54	2,92
Альбит	3,03	2,98	2,57	2,75
Спорион	2,61	2,82	2,54	2,70
Аквамикс	2,80	2,48	2,62	2,52
Аквамикс + Альбит	2,75	2,87	2,82	2,72
Аквамикс + Спорион	2,73	2,72	2,64	2,64

Таблица дисперсионного анализа

Источник вариации	SS	df	MS	F	P- Значение	F критическое
Между группами	82,18002	18	4,565557	276,3937	1,09E-48	1,787809
Внутри групп	0,941544	57	0,016518			
Итого	83,12157	75				

Приложение Э

Накопление симбиотического азота в надземной массе люцерны в опыте 1,
кг/га

Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Люцерна изменчивая сорт Агния			
Контроль	44,7	162,1	197,0
Альбит	43,4	169,8	212,0
Спорион	46,0	170,3	223,6
Молибдат аммония	51,9	175,2	216,7
Люцерна изменчивая сорт Таисия			
Контроль	40,1	168,7	212,6
Альбит	47,8	159,6	224,1
Спорион	49,7	164,2	217,9
Молибдат аммония	54,3	175,0	215,6
Люцерна желтая сорт Нижегородская			
Контроль	40,2	161,0	189,2
Альбит	51,0	156,9	198,8
Спорион	50,8	159,2	200,0
Молибдат аммония	47,9	184,2	212,7
НСР ₀₅	4,1	12,0	12,5