

На правах рукописи

ПЕСТЕРЕВА
Елена Семеновна

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЕВ
И АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОДНОЛЕТНИХ
КОРМОВЫХ КУЛЬТУР В МЕРЗЛОТНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ
РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)**

Специальность 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора сельскохозяйственных наук

Новосибирск - 2025

Диссертационная работа выполнена в лаборатории кормопроизводства ФГБУН «Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова» (ЯНИИСХ) – обособленное подразделение ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН» (2011-2021 гг.).

Научный консультант: **Будажанов Лубсан-Зонды Владимирович**
член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник Академии наук Республики Саха (Якутия)

Официальные оппоненты: **Зезин Никита Николаевич**
член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, директор ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр» Уральского отделения РАН

Зубарев Юрий Николаевич
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник УНИД, профессор кафедры агробиотехнологии ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет им. академика Д.Н. Прянишникова»

Хисматуллин Марс Мансурович
доктор сельскохозяйственных наук, доцент, директор ФГБУ «Управление Приволжскмелиоводхоз»

Ведущая организация: **ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова»**

Защита диссертации состоится «**06**» **июня 2025** г. в **10-00** час. на заседании диссертационного совета 35.2.025.02, созданного на базе ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет» по адресу: 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, тел/факс (383)267-05-10, e-mail: d_sovet@edubiotech.ru

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Новосибирского ГАУ» и на сайте <http://www.edubiotech.ru>

Автореферат разослан «_____» _____ 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



Т.В. Гаврилец

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Обоснование теоретических предпосылок получения урожаев и разработка практических приемов возделывания однолетних кормовых культур с учетом лимитирующих урожай мерзлотных стресс-факторов представляет современный трек развития мерзлотного земледелия Республики Саха (Якутия). Комплексная Программа пространственного развития региона в части сельскохозяйственного производства и развития ресурсов реализуется Постановлением Правительства РФ № 1614 от 30.09.2023г.

В этой связи, высокая актуальность создания энергоемкой и высококачественной кормовой базы при крайне скудном реестре кормовых культур настоятельно диктует необходимость включения однолетних кормовых культур с разработкой агротехнологических приемов снижения рисков их возделывания в мерзлотных режимах. В реализации последних необходимо выстроить новую научно-технологическую парадигму получения устойчивых урожаев сочных кормов на мерзлотных почвах с высокими энерго- протеиновыми достоинствами. Однако, подобное сдерживается наличием целой линейки крайне неблагоприятных абиотических факторов - наличие вечной мерзлоты в почвах с медленным оттаиванием и быстрым промерзанием деятельного слоя, доминирование холодных воздушных масс в годовом обороте и низкое энергетическое состояние мерзлотных почв при ограниченной солнечной инсоляции и дефиците тепловых ресурсов, широкой амплитуде температурных режимов и дефиците осадков.

Анализ массива данных по урожаю однолетних кормовых культур и особенностям их возделывания в земледелии Западной Сибири (Кашеваров и др., 2004, 2007, 2016; Бойко, 2019), Урала (Зубарев и др., 2021,2022; Зезин др.,2023) и Забайкалья (Батудаев, 2003; Будажапов и др., 2023) свидетельствуют о высоком их потенциале при создании устойчивой кормовой базы с высокими кормовыми достоинствами. Доказательность подобных притязаний в земледелии Республики Саха (Якутия) оставалась вне поля научных оценок. Соответственно, обоснование агротехнологических рисков получения урожая однолетних кормовых культур в мерзлотных режимах представляет одну из наиболее актуализированных позиций в земледелии этой Субарктической провинции.

Цель исследований. Теоретическое обоснование урожаев и разработка агротехнологических приемов возделывания однолетних кормовых культур с построением системы мероприятий и критериев оценки урожая как научно-технологическая концепция получения высококачественных энергоемких сочных кормов в условиях мерзлотного земледелия Республики Саха (Якутия).

Задачи исследований.

1. Обосновать получение устойчивых урожаев однолетних кормовых культур с учетом основных лимитирующих абиотических факторов и разработать агротехнологические приемы снижения рисков их возделывания в мерзлотном земледелии
2. Представить статистический анализ урожаев однолетних кормовых культур разных по морфологическим и биологическим особенностям под нагрузкой серии агротехнологических приемов их возделывания на мерзлотных почвах
3. Раскрыть кинетические параметры роста растений однолетних кормовых культур в течении короткого вегетационного периода под влиянием минеральных удобрений и орошения с оценкой степени сопряженности урожая с основными показателями гидротермического состояния посевов
4. Актуализировать значимость энергетического статуса посевов однолетних кормовых культур и выстроить систему критериев оценки урожая по энерго-протеиновым

достоинствам с обоснованием экономических рисков их возделывания в мерзлотных режимах

5. Выявить экономическую эффективность возделывания однолетних кормовых культур на мерзлотных почвах и раскрыть экономический эффект урожая по показателю вклада в покрытие постоянных издержек под влиянием агротехнологических приемов в мерзлотном земледелии

Защищаемые положения.

1. Система мероприятий по возделыванию и получению урожаев однолетних кормовых культур в мерзлотном земледелии включает применение минеральных удобрений, проведение вегетационного полива и посева в первой декаде июня, которые в совокупном эффекте обеспечивают устойчивый выход сочных кормов с высокими энергетическими и кормовыми достоинствами

2. Система критериев оценки урожая по изменению энергетического состояния посевов, кинетики роста растений в онтогенезе и кормовых достоинств культур позволяет снизить технологические риски и обеспечить экономический эффект их возделывания на мерзлотных почвах

3. Система теоретических практик и практических приемов получения устойчивых урожаев однолетних кормовых культур в мерзлотном земледелии позволяет выстроить новый алгоритм наполнения скудной кормовой базы высококачественными сочными кормами

Научная новизна. Впервые представлено теоретическое обоснование получения урожаев однолетних кормовых культур с разработкой агротехнологических приёмов, направленных на снижение рисков их возделывания в мерзлотном земледелии как новая научно-технологическая парадигма насыщения скудной кормовой базы сочными кормами в условиях выраженного доминирования холода и дефицита тепловых ресурсов.

Впервые разработаны адресные агротехнологические приемы получения урожая сочных кормов на мерзлотных почвах с определением разных уровней урожая по основным лимитирующим факторам. На этом основании выстроен алгоритм создания устойчивой высококачественной и энергоёмкой кормовой базы сочных кормов для арктических условий. В этом решении, впервые дана оценка абиотическим стресс-факторам, лимитирующих урожай однолетних кормовых культур с ранжированием от потенциального и действительно возможного до производственного урожая. На этом основании впервые установлен уровень ожидаемых и фактических рисков получения урожаев в мерзлотном земледелии.

В практике научных исследований впервые реализована и верифицирована система агротехнологических приемов возделывания однолетних кормовых культур в мерзлотном земледелии, которая позволяет значительно снизить негативное влияние жестких абиотических факторов. Подобное затрагивает ранее не реализованную практику ведения мерзлотного земледелия.

Для специфических мерзлотных режимов впервые представлен аналитический материал по специфике проявления фотосинтетической деятельности растений при ограниченных ресурсах солнечной инсоляции, дефиците тепла и доминировании холодных воздушных масс в годовом обороте. Впервые сформирована база данных по урожаю новых и перспективных однолетних кормовых культур в мерзлотном земледелии с разными морфологическими, биологическими и генетическими признаками (подсолнечник, суданская трава, кукуруза, редька масличная и просо), которая позволяет разработать алгоритм получения устойчивых урожаев на мерзлотных почвах с построением прогнозных сценариев. Сигнальная часть такого подхода впервые реализована в формате

оценки кинетических параметров роста растений в мерзлотных режимах, константа (k) скорости которых отражала разный отклик на агротехнологические приемы их возделывания.

В многолетнем ряду урожаев однолетних кормовых культур впервые доказан позитивный эффект ежегодного внесения полного минерального удобрения в сочетании с проведением периодического вегетационного полива и посева в первой декаде июня. Позитивный эффект последних на мерзлотных почвах впервые доказан через оценку кинетических характеристик нарастания зеленой массы и изменение энергетического статуса посевов.

Впервые в практике анализа результатов активно использован метод вариационно-статистического и корреляционного анализа с построением математических моделей. Научная новизна такой оценки для мерзлотного земледелия реализована впервые в теоретическом и практическом исполнении. Для специфических режимов мерзлотного земледелия впервые раскрыта ключевая значимость изменения энергетического статуса посевов за счет поступления извне дополнительных источников энергии в виде вносимых минеральных удобрений.

Для устойчивого выхода сочных кормов на мерзлотных почвах впервые доказана ключевая значимость триады агротехнологических приемов (внесение минеральных удобрений, вегетационный полив и посев в первой декаде июня), эффект которых оказал наиболее значимое влияние. На этом основании, выявлено возрастание энерго-протеиновых достоинств урожая.

Впервые представлена панорама экономической обоснованности комплекса агротехнологических мероприятий по снижению рисков получения урожая с высокой рентабельностью и конкурентностью и разработаны критерии оценки урожаев по кинетическим, энерго- протеиновым и экономическим показателям.

Научная новизна результатов впервые позволила выстроить новую парадигму существенного расширения реестра кормовых культур с получением устойчивых урожаев высококачественных и энергоемких сочных кормов в мерзлотном земледелии Республики Саха (Якутия).

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость работы представлена аналитическим обзором литературного массива по специфике проявления фотосинтетической деятельности растений при дефиците солнечной инсоляции и доминировании холодных потоков. На этом основании раскрыт характер отклика растений на критические изменения температурных режимов. Теоретическая значимость подобных оценок придает иной формат криорезистентности растений и получения урожаев в мерзлотных режимах.

В теоретической значимости впервые обоснована возможность нивелирования неблагоприятных мерзлотных факторов роста растений с обоснованием получения урожаев однолетних кормовых культур в мерзлотном земледелии. Теоретическая значимость результатов определяется форматом теоретических подходов в совершенствовании принципов получения урожая на мерзлотных почвах при наличии выраженных жестких абиотических факторов. На этой основе реализована практика определения теоретических уровней урожая в виде потенциального и действительно возможного с переходом к производственному. Подобные подходы отражают одну из лучших теоретических обоснований урожаев однолетних кормовых культур для мерзлотных эколого-почвенных режимов.

На основании изменения показателей развития растений в онтогенезе рассчитаны кинетические константы (k) их роста для культур с разными морфо-биологическими

особенностями в мерзлотных режимах, различия в которых выступают как прогнозные оценки в получении урожаев. Доказательность высокой тесноты связей урожая однолетних кормовых культур с показателями тепло- и влагообеспеченности посевов в теоретической и практической значимости подтвердилась обширным вариационно-статистическим, корреляционно-регрессионным и дисперсионным анализом.

Общая совокупность подобных подходов позволяет выстроить уникальную базу данных для этих культур, формирование и наполнение которой служит основой для построения прогнозных сценариев в получении урожаев. В этой совокупности оценок выражена едва ли не лучшая теоретическая значимость работы по исключению рисков возделывания и получения урожаев однолетних кормовых культур в мерзлотном земледелии. Именно эта теоретическая часть позволяет раскрыть спектр новых доказательств и предположений. В теоретической значимости достигнутых результатов впервые обоснована значимость энергетического статуса посевов как важнейшего критерия получения устойчивых урожаев однолетних кормовых культур в мерзлотном земледелии этого Субарктического региона.

В практической значимости результатов реализован реестр агротехнологических приемов возделывания однолетних кормовых культур на мерзлотных почвах с критериями оценки достигнутых урожаев. Предполагаемая априори ранее возможность их возделывания в мерзлотных режимах получила практическую верификацию. В практической ценности результатов доказана ключевая роль внесения полного минерального удобрения в сочетании с посевом в первой декаде июня и выявленном позитивном эффекте вегетационного полива. Такая триада агротехнологических приемов как единая система мероприятий обеспечивали выход энергонасыщенных кормов с высокой кормовой ценностью.

Результативность работы и позитивный эффект теоретических и практических предпосылок получения высоких урожаев однолетних кормовых культур представляет совершенствование общепризнанных принципов построения высокопродуктивных кормовых агроценозов в мерзлотном земледелии. Теоретическая и практическая значимость результатов воплощает целый спектр ранее не выявленных и порой противоречивых мнений, а по ряду параметров - лучшие практики теоретического обоснования и практического опыта.

Высокая результативность получила производственную проверку (акты внедрения), подтверждена патентами, опубликованными статьями и публичными выступлениями. Значительная часть результатов представлена в рекомендациях по технологии возделывания этих кормовых культур на мерзлотных почвах, в т.ч. с включением в «Система ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия)» трех изданий (2009, 2017, 2021).

Объекты и предмет исследований. Объектом исследований служили однолетние кормовые культуры (подсолнечник, суданская трава, кукуруза, редька масличная, просо), которые возделывали на зеленую массу на трех разных мерзлотных почвах с высоким уровнем залегания вечной мерзлоты. Предметом исследований выступали мерзлотные агроценозы и система агротехнологических мероприятий, направленных на снижение рисков получения урожая с увеличением кормовых достоинств и разработкой критериев энергетической и экономической оценки.

Методология и методы исследований. Методология исследований базируется на анализе результатов работ отечественных авторов. Методы исследований включали построение рабочей версии, постановку полевых, производственных и лабораторных опытов, проведение наблюдений и учетов, почвенные и биохимические анализы,

статистический и корреляционный анализ с построением математических моделей, а также расчеты энергетической, кормовой и экономической эффективности возделывания кормовых культур. Достоверность результатов получена в многолетних исследованиях и подтверждена производственными испытаниями и обширным статистическим анализом. Методология исследований предусматривала проведение биохимических анализов кормов, оценку кинетических характеристик роста растений, энергетических изменений и кормовой ценности. Достоверность результатов подтверждена актами внедрения в производственных условиях.

Апробация работы. Основные результаты доложены на научных, научно-практических конференциях и совещаниях международного, российского, регионального и республиканского уровня (Москва, 2006, 2015; Новосибирск, 2011, 2013, 2014; Томск, 2016; Екатеринбург, 2016; Белгород, 2017; Омск, 2017; Соленое Займище, 2017; Улан-Батор, 2018; Самара, 2018; Краснообск, 2008, 2023; Улан-Удэ, 2023; Якутск, 2023; 2024 Казань, 2024).

Публикации. Основные положения диссертации изложены в 111 печатных работах, в т.ч. 42 ведущих рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ, 8 патентов на изобретение РФ, 4 свидетельств о регистрации базы данных РФ, 2 монографиях, 2 учебных пособиях, 10 научно-методических пособиях и рекомендациях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения и предложений производству. Работа изложена на 288 страницах, содержит 58 таблиц, 27 приложений. Список литературы включает 518 литературных источников, в т.ч. 92 зарубежных авторов.

Личный вклад автора. Постановка проблемы, формулировка рабочей версии, разработка подходов к решению цели и задач исследований, разработка программы исследований, закладка полевых опытов, мониторинг за объектами исследований, проведение необходимых анализов и обобщение данных с применением статистического анализа, в т.ч. дисперсионного и регрессионного с элементами математического моделирования, а также проведение апробации и внедрения результатов в производственных условиях. Подготовка материалов и написание диссертационной работы.

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность и благодарность научному консультанту - член-корреспондент РАН, д.б.н. профессору Л.В. Будажапову, первому научному руководителю, д.с.-х.н., профессору Н.Т. Попову и коллективу Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства за помощь при выполнении и написании диссертационной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Современные парадигмы формирования урожая в мерзлотных режимах

В настоящее время накоплен массив научных предпосылок получения урожая однолетних кормовых культур в земледелии Республики Саха (Якутия) с противоречивыми мнениями разрозненных во времени и пространстве отдельных краткосрочных опытов. При всей очевидности последних, огромный пласт вопросов связанных с их возделыванием в мерзлотных режимах вкупе с потеплением и самоподдерживающим оттаиванием мерзлоты остается открытым (Израэль, 2011; Иванов и др., 2018, 2021, 2024; Kira, 2017; Jürgen, 2023). Соответственно, риски возделывания теплолюбивых однолетних кормовых культур с получением устойчивых урожаев резонны.

Отсюда, обоснование урожаев и разработка агротехнологических приемов их снижения представляют современные парадигмы развития земледелия в этом регионе.

Условия, объекты и методика исследований

Исследования проводились в типичных мерзлотных режимах Центральной агроклиматической зоны на опорном полигоне Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства (г. Покровск, Хангаласский улус) Республики Саха (Якутия) путем закладки стационарных полевых многолетних опытов с однолетними кормовыми культурами (подсолнечник, суданская трава, кукуруза, редька масличная, просо) на трех мерзлотных почвах (лугово-черноземная, аллювиальная дерновая, дерново-луговая) с высоким залеганием в профиле вечной мерзлоты в течение 2011-2021 гг.

Многолетние исследования проводились путем закладки отдельных полевых опытов с гео-привязкой по координатам 63°05'04"с.ш. и 130°25'08"в.д. до 61°22'29"с.ш. и 128°50'57"в.д. на трех типичных мерзлотных почвах, в каждом из которых объектом исследования выступали однолетние кормовые культуры. Каждый полевой опыт размещался на отдельном земельном участке, в пределах которого располагались полевые опыты с рендомизированным размещением вариантов. При этом, каждый полевой опыт с конкретной культурой представлял отдельный земельный контур выделенный в пространстве с выстроенной схемой исследований для каждой конкретной культуры и включением вариантов с внесением минеральных удобрений (NPK₉₀ и NPK₁₂₀), разных режимов орошения, сроков и схем междурядного посева и вариантов с абсолютным контролем в каждом опыте. Площадь делянок в полевых опытах составила $S = 72 \text{ м}^2$ (7.2 м x 10 м).

Однолетние кормовые культуры высевали в монокультуре согласно принятой технологии возделывания с триадой ключевых агротехнологических приемов - внесение полного минерального удобрения в качестве основного под культивацию весной, проведение периодического вегетационного полива в течение полевого сезона с подбором и варьированием календарных дат посева (разные декады июня). К уборке зеленой массы приступали в первой - второй декаде августа.

Минеральные удобрения (NPK) вносили в виде азофоски (16:16:16) в двух дозах (NPK 90 и NPK120 кг) весной перед посевом в качестве основного удобрения. Вегетационный полив в виде орошения проводили периодически дождеванием с нормой 300-500 м³ (агрегат КИ-5), особенно - в критический период развития растений (всходы - кущение). Сроки посева варьировали по мере оттаивания верхнего горизонта мерзлотных почв в интервале первая - вторая декада июня. Сочетание этих календарных дат посева с внесением минеральных удобрений и орошением обеспечивало значительное снижение рисков получения урожая. Подготовка мерзлотных почв представляла единую технологию - согласно «Зональная система ведения сельского хозяйства» (Якутск, 2009, 2017, 2021), которая выражалась в виде осенней вспашки (зябь) с последующим 2-4-х кратным дискованием, весенним закрытием влаги, двукратным тяжелым и легким боронованием с повторным боронованием перед посевом.

Каждый полевой опыт имел условную маркировку - код и оцифровку. Опыт с культурой подсолнечника (ПС) включал три самостоятельных опыта: внесение минеральных удобрений при орошении (ПС-1. У/О), сроки посева при орошении (ПС-2. С/О), сроки посева без орошения (ПС-3. Б/О). Опыт с культурой суданская трава (СТР) включал два самостоятельных опыта: внесение минеральных удобрений при орошении (СТР-1. У/О) и сроки посева при орошении (СТР-2. С/О). Опыт с культурой кукуруза (КК) включал три

самостоятельных опыта: внесение минеральных удобрений при орошении (КК-1. У/О), сроки посева при орошении (КК-2. С/О), сроки посева без орошения (КК-3. Б/О). Опыт с культурой редька масличная (РМ) включал два самостоятельных опыта: внесение минеральных удобрений при орошении (РМ-1. У/О), сроки посева при орошении (РМ-2. С/О). Опыт с культурой просо (ПР) включал два самостоятельных опыта: внесение минеральных удобрений при орошении (ПР-1. У/О), сроки посева при орошении (ПР-2. С/О).

Посев в каждом полевым опыте проводили в три разных календарных срока, которые различались в пределах декад июня месяца. Соответственно, посев культур с 1 по 10 число - первая декада июня (I-VI), с 11 по 20 число - вторая декада июня (II-VI), с 21 по 30 число - третья декада июня (III-VI). Для посева однолетних кормовых культур использовали, в основном, высококондиционные семена сортов и гибридов селекции СибНИИ кормов СО РАН. Норма высева семян однолетних культур в полевых опытах составила: подсолнечник 40 кг, суданская трава 25 кг, кукуруза 40 кг, редька масличная 10 кг и просо 25 кг/га.

В период онтогенеза кормовых культур проводили фенологические и фитометрические наблюдения по прохождению фенологических фаз и изменению высоты растений в динамике по фазам развития, на основании которых были построены математические модели по нарастанию зеленой их массы. Уборку урожая проводили вручную в фазу цветения при наибольшем нарастании зеленой массы, из которой ежегодно отбирались образцы на показатели кормовой ценности. В каждом полевым опыте ежегодно до посева и после уборки урожая отбирали почвенные образцы (0-20 см слой) с каждого варианта по классической методике (Ганжара и др., 2002, 2012, 2014). Почвенные разрезы закладывались для построения портретно-профильной характеристики.

Статистический анализ проводили по общепринятым методикам (Савич,1972; Лакин,1980) с построением математических моделей для разных признаков с использованием пакета стандартных программ Excel (2010). Урожай теоретического и производственного уровня рассчитывали по классическим методикам (Шатилов и др.,1980; Каюмов,1989). Экономическая эффективность агротехнологий возделывания кормовых культур представлена по методике ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса (1995, 2000), а также по вкладу в покрытие постоянных издержек (ВППИ), равновесной урожайности (РУ) и конкурентной способности (Шпаар,2008; Уланов, 2019; Павлова, 2022).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результативность исследований достигнута в полевых многолетних опытах с однолетними кормовыми культурами - подсолнечник, суданская трава, кукуруза, редька масличная и просо. При наличии крайне неблагоприятных абиотических факторов в мерзлотном земледелии, риски возделывания и получение устойчивых урожаев остаются высокими. Последние и предопределяли разработку и верификацию эффективных технологических решений. Реализация подобного базировалась на анализе исследований с аналогичными культурами в европейской части (Косолапов и др., 2010, 2014; Шпаков и др., 2023), Западной Сибири (Бенц и др., 2001; Кашеваров и др., 2004, 2007; Бойко, 2019) в приложении к местным мерзлотным режимам.

Урожай подсолнечника и оценка возделывания: статистики и кинетика роста растений, энерго-протеиновый и экономический эффект

Общепризнанная высокая продуктивность и кормовая ценность подсолнечника (*Helianthus annuus L.*) в пополнении кормовой базы сочными кормами остается слабо изученной в регионе. Подобное связано с тотальным проявлением мерзлотных режимов в системе почва-растение (Еловская, 1987; Куликов, 1997; Десяткин, 2009, 2019; Будажапов, 2023; Иванов и др., 2024).

Теоретическое обоснование урожая. На основе общепринятых оценок (Шатилов и др., 1980) рассчитан урожай подсолнечника, который может обеспечиваться на мерзлотной дерново-луговой почве в идеальных условиях (ПУ) и с учетом лимитирующих факторов (ДВУ). Последние составляли 447.5 ц/га и 363.1 ц/га соответственно (табл.1). В реальных условиях производства урожай подсолнечника на зеленую массу следует ожидать без орошения не более 150 - 170 ц и при орошении 200 - 300 ц (табл.1).

В результате этой оценки, впервые обоснована возможность получения урожая подсолнечника в критических условиях мерзлотного земледелия. При этом, величина урожая в теоретических уровнях определений не имела существенных различий по срокам посева. Различия проявились в оценках урожая по плодородию почв и производственных условиях, где выявлено заметное снижение (табл.1).

Таблица 1. Теоретический и технологический уровень урожая подсолнечника на мерзлотных почвах, ц/га (расчетная оценка)

Уровни и категории урожаев (зеленая масса)		мерзлотная аллювиальная дерновая почва			мерзлотная дерново- луговая почва	
		сроки посева (декада июня)				
		I декада	II декада	III декада	I декада	II декада
теоретический уровень						
ПУ	потенциальный урожай	447.5	447.5	447.5	447.5	447.5
ДВУ	действительно возможный	421.3	442.5	419.1	363.1	432.9
технологический уровень						
УПП	урожай по плодородию почв	328.3	358.3	208.3	248.3	228.3
УПО	урожай в полевых опытах	382.5	385.4	271.2	199.0	271.0
УП	урожай производственный	250.0	300.0	200.0	150.0	170.0
НСР ₀₅		34.6	35.1	32.1	41.2	42.7

В производственных условиях урожай подсолнечника на мерзлотной аллювиальной дерновой почве следует ожидать 200 - 300 ц и на мерзлотной дерново-луговой почве - 150 - 170 ц/га (табл.1). Как следствие, ранжирование урожая подсолнечника в теоретическом и технологическом обосновании на мерзлотных почвах подтвердила классический постулат снижения от идеальных к производственным условиям (Шатилов и др., 1982; Каюмов, 1989; Ковалев, 1997; Будажапов, 2019б).

Статистики урожая и сопряженность с абиотическими факторами. Урожай подсолнечника на изучаемых мерзлотных почвах определялся внесением минеральных удобрений, режимом орошения и варьированием календарными датами посева (табл.2).

На мерзлотной лугово-черноземной почве статистики урожая подсолнечника при орошении на варианте контроль (без удобрений) в среднем не превышали 270.9 ± 25.6 ц/га с широким диапазоном лимитов (220.1 - 301.3 ц) при небольшой величине варьирования. При внесении полного минерального удобрения (NPK), независимо от дозы и схемы междурядного посева, урожай был достоверно выше контроля, а различия остались

статистически не доказанными и находились в диапазоне 373.8 - 422.7 ц/га с широким интервалом лимитов и небольшой величиной варьирования (табл.2).

Таблица 2. Статистики урожая подсолнечника на мерзлотных почвах по разным вариантам опытов, ц/га (зеленая масса)

Код опытов и варианты оценки				Показатели оценки, n = 11		
				M ± m	lim	V,%
мерзлотная лугово-черноземная почва (минеральные удобрения и орошение)						
ПС-1. У/О	контроль, без удобрений	схема посева между- рядий, см	30	260.1 ± 25.6	209.2 - 290.3	17.0
			60	270.9 ± 25.6	220.1 - 301.3	16.3
	NPK ₉₀		30	373.8 ± 26.4	321.7 - 407.3	12.2
			60	390.4 ± 25.3	340.3 - 421.3	11.2
	NPK ₁₂₀		30	400.6 ± 22.8	387.6 - 414.6	9.9
			60	422.7 ± 26.0	370.7 - 450.6	10.7
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (сроки посева и орошение)						
ПС-2. С/О		I декада	июнь	382.5 ± 21.0	341.4 - 410.6	9.5
		II декада		385.4 ± 23.0	339.6 - 410.5	10.3
		III декада		204.6 ± 22.9	159.8 - 235.4	19.4
мерзлотная дерново-луговая почва (сроки посева и без орошения)						
ПС-3. С/БО		I декада	июнь	271.2 ± 15.4	244.8 - 298.1	9.8
		II декада		199.0 ± 20.3	159.6 - 227.4	17.7

НСР₀₅ междурядье 30 см 54.0; 60 см 36.4; орошение 57.4; без орошения 44.7

На мерзлотной аллювиальной дерновой почве статистики урожая при разных сроках посева в условиях орошения оказались значимо ниже при посеве в третьей декаде июня и в среднем составили 204.6 ± 22.9 ц/га с широкими предельными величинами и небольшой вариабельностью (табл.2). При посеве в первой и второй декаде июня, величина урожая оказалась значимо выше и не превышала в среднем 385.4 ± 23.0 ц/га с высокими верхними лимитами при незначительной вариабельности (табл.2).

На мерзлотной дерново-луговой почве статистики урожая в богарных условиях (без орошения) по срокам посева складывались различно. Существенно высокий урожай получен при посеве в первой декаде июня, который в среднем составил 271.2 ± 15.4 ц/га при незначительной вариабельности. В случае посева во второй декаде июня урожай оказался значимо меньшим и в среднем не превышал 199.0 ± 20.3 ц/га с низкой величиной нижнего предела урожая - 159.6 ц/га (табл.2).

Корреляционный анализ парных признаков позволил выявить разную сопряженность урожая с факторами внешней среды. На мерзлотной лугово-черноземной почве урожай подсолнечника при орошении на варианте контроль и при внесении минерального удобрения (NPK₉₀), их теснота находились в высокой ($r > 0.78$) и значимой тесноте связей ($t_{\phi} > t_{st}$) с температурами воздуха в третьей декаде июня ($r = 0.87 - 0.93$) и в первой декаде июля ($r = 0.78 - 0.87$), а с осадками - в высокой и обратной тесноте связей в третьей декаде июня ($r = -0.84 \dots -0.93$) и в прямой - во второй декаде июля ($r = 0.91 - 0.98$). Схожий характер зависимостей наблюдался при внесении минерального удобрения в дозе NPK₁₂₀.

Несколько иная панорама парных зависимостей (r) выявлена на мерзлотной дерново-луговой почве в богарных режимах (без орошения). Во всех случаях, независимо от сроков посева, высокая и статистически значимая ($t_{\phi} > t_{st}$) теснота связей выявлена с температурами воздуха в период с третьей декады июня по третью декаду июля ($r = 0.83 - 0.88$), достигая в отдельных случаях очень высокой ($r = 0.95$) и близкой к функциональной

($r \rightarrow 1$). Подобные высокие зависимости выявлены с осадками в период третья декада июня - первая декада июля, коэффициент корреляции которых оказался высоким и очень высоким, достигая соответственно $r = 0.84 - 0.97$ и $r = -0.94 \dots -0.99$. На мерзлотной аллювиальной дерновой почве подобная теснота признаков при орошении оказалась менее выраженной, независимо от сроков посева, с показателями температур воздуха, а по осадкам - повсеместно высокой в первой и во второй декаде июля.

Фенологические фазы и кинетика роста растений. Развитие растений подсолнечника в мерзлотных режимах имело специфические характеристики. Установлено медленное наступление и прохождение фенологических фаз (появление всходов и 3-4 листа, бутонизация, образование соцветий и цветение), которое обусловлено дефицитом тепла, коротким периодом вегетации и слабой солнечной активностью. В этих режимах высота растений на варианте контроль не превышала в среднем 144 см, при внесении минеральных удобрений - 184 см и при посеве в первой декаде июня - 176.3 см. Влияние разных схем междурядий и орошения на изменение высоты растений не выявлено. Тем не менее, кинетика роста растений в этих режимах оказалась высокой, константа (k) скорости которой достигала $k = 0.876 - 0.969$ в сутки. Однако, высокие кинетические параметры роста не обеспечивали адекватное изменение высоты растений. На наш взгляд, подобное является специфическим критерием роста и развития растений подсолнечника при доминировании холода и выраженном дефиците тепловых ресурсов.

Энергетические и кормовые достоинства. Ключевым критерием получения продукции выступает энергетический статус системы почва - растение (Савич и др., 2007, 2010а,б, 2016; Будажапов и др., 2022, 2023). В этом понимании, результаты исследований не стали исключением. Возделывание подсолнечника на мерзлотных почвах сопровождалось специфическим энергомассообменом и трансформацией энергетических потоков под нагрузкой минеральных туков, разных сроков посева на фоне различных условий увлажнения (орошение и без орошения). В этом смысле, наиболее яркая панорама энергетических изменений наблюдалась на мерзлотной лугово-черноземной почве при внесении минеральных удобрений в условиях орошения (табл.3).

При вполне сопоставимых затратах совокупной энергии под влиянием удобрений (24.3 - 33.8 ГДж) и в меньшей степени - разных схем посева подсолнечника, значительно возрастала валовая энергия до 115 ГДж в сравнении с контролем (73.1 - 76.3 ГДж) с меньшими изменениями величин обменной энергии (табл.3).

Таблица 3. Энергетическая оценка посевов подсолнечника при внесении минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве

Параметры оценки (при орошении)	Ед. изм.	Контроль		NPK ₉₀		NPK ₁₂₀	
		схема междурядий в посевах, см					
		30	60	30	60	30	60
Затраты совокупной энергии	ГДж га	24.3	24.5	31.3	31.6	33.4	33.8
Валовая энергия		73.1	76.3	101.6	106.2	109.0	115.0
Обменная энергия		33.4	35.1	47.7	49.2	51.1	54.6
Приращение валовой энергии		48.8	51.7	70.3	74.5	75.4	81.1
Энергетический коэффициент		3.01	3.11	3.25	3.36	3.26	3.40
Энергоемкость кормов, ц	ГДж	0.93	0.90	0.84	0.81	0.83	0.80
Энергет. коэфф. производства кормов		1.37	1.43	1.52	1.56	1.53	1.61

Вследствии этих изменений, наблюдалось почти вдвое увеличение приращения валовой энергии (48.8 до 81.1 ГДж/га) и энергетического коэффициента (3.01 до 3.40). В такой

трансформации энергетических ресурсов, энергетический коэффициент производства кормов возрастал при внесении минеральных удобрений (NPK₁₂₀) до 1.61 по сравнению с контролем (1.37) (табл.3).

Изменение энергетического статуса посевов подсолнечника обеспечивалось внесением минеральных удобрений и сопровождалось значимым возрастанием урожая (табл.2) и изменением кормовых достоинств (табл.4).

На мерзлотной лугово-черноземной почве установлено достоверное увеличение содержания сырого протеина с 13.8 до 16.3% при устойчивом присутствии клетчатки, жира и незначительном снижении содержания БЭВ. При изменении энергетического статуса посевов под нагрузкой минеральных удобрений наблюдалось увеличение содержания переваримого протеина до 115 г против 93 г на контроле (табл.4).

Несколько иная панорама изменения энергетического статуса и кормовых достоинств подсолнечника наблюдалась на мерзлотной аллювиальной дерновой и дерново-луговой почве на вариантах с разными сроками посева на фоне разных режимов увлажнения (орошение и без орошения). В этой оценке, характер изменения энергетического статуса определялся, главным образом, режимом орошения и практически не имел позитивного отклика на разные сроки посева. На мерзлотной аллювиальной дерновой почве под влиянием орошения наблюдалось большее присутствие валовой энергии в сравнении с мерзлотной дерново-луговой почвой в условиях без орошения. На мерзлотной дерново-луговой почве показатели энергетического статуса системы почва-растение в богарных условиях были значительно ниже по всем вариантам оценки.

Таблица 4. Кормовые достоинства зеленой массы подсолнечника при внесении минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве

Параметры оценки при орошении (по сырому веществу)		Контроль		NPK ₉₀		NPK ₁₂₀	
		схема междурядий в посевах, см					
		30	60	30	60	30	60
протеин	% на абс. сух. в-во	13.8	14.1	15.3	15.8	16.0	16.3
клетчатка		35.6	35.2	33.7	34.7	33.9	33.5
жир		2.3	2.4	2.6	2.8	2.5	2.7
зола		5.5	5.5	6.7	7.1	6.9	7.2
БЭВ		42.7	42.8	41.7	39.6	40.6	40.1
кормовая единица	кг/сух	0.59	0.60	0.63.	0.61	0.62	0.63
перевар. протеин, г	в-во	93	95	105	110	112	115

НСР₀₅ протеин 2.0; клетчатка 3.2; жир 0.02; зола 0.03; БЭВ 3.0; кормовых единиц 0.02; переваримый протеин 3.2

Незначительные изменения энергетического статуса не сопровождалось адекватным изменением кормовых достоинств подсолнечника по всем параметрам оценки. Независимо от условий увлажнения и сроков посева подсолнечника, практически все основные показатели находились в пределах близких величин (табл.4) и не имели статистических различий. Низкое энергетическое состояние посевов подсолнечника на этих мерзлотных почвах, особенно богарных условиях, сопровождалось значимо меньшим урожаем без увеличения кормовой ценности продукции.

Экономический эффект возделывания. Высокая результативность позволяет констатировать минимальные экономические риски возделывания подсолнечника в мерзлотном земледелии при высокой маржинальности с высокой рентабельностью (табл.5).

Последняя в общепринятой оценке на варианте с внесением полного минерального

удобрения на мерзлотной лугово-черноземной почве при наибольшей продуктивности по выходу кормовых единиц с 1 га (3843 к.ед.) и наибольшим условно чистым доходом 45410 руб/га (NPK₁₂₀) оказалась высокой и достигал 87% (табл.5). На варианте контроль (без удобрений) показатели продуктивности и условно чистого дохода были значительно ниже и не превышали соответственно 2460 к.ед. и 21636 руб/га с рентабельностью 48 - 53%. Аналогично высокий уровень рентабельности выявлен при посеве подсолнечника в первой и второй декаде июня на мерзлотной аллювиальной дерновой почве, достигая 80%.

На мерзлотной аллювиальной дерновой почве при посеве в третьей декаде июня установлен факт отсутствия экономической целесообразности возделывания подсолнечника. В этом случае, экономические риски возделывания возрастали - показатели продуктивности и условно чистого дохода оказались минимальными, а возделывание - не рентабельным (табл.5). На мерзлотной дерново-луговой почве высокий экономический эффект возделывания подсолнечника наблюдался при посеве в первой-второй декаде июня в отсутствии орошения - рентабельность производства составила 17-55% (табл.5).

Выявленные различия в урожае подсолнечника по мерзлотным почвам, разным режимам увлажнения, срокам и схемам посева междурядий позволили впервые дать оценку конкурентной способности урожая по показателю вклада в покрытие постоянных издержек (ВППИ) и показателю равновесной урожайности (РУ).

Таблица 5. Экономическая оценка возделывания подсолнечника на мерзлотных почвах по разным вариантам опытов (зеленая масса)

Код опытов и варианты оценки				Продуктивность	Стоимость продукции	Прямые затраты	Условно чистый доход	Рентабельность	
				к.ед. с 1 га	руб / га			%	
мерзлотная лугово-черноземная почва (минеральные удобрения и орошение)									
ПС-1. У/О	контроль, без удобрений	схема посева междурядий, см	30	2301	59823	40493	19330	48	
			60	2460	62307	40671	21636	53	
	NPK ₉₀		30	3402	85974	48852	37122	76	
			60	3477	89792	49119	40673	83	
	NPK ₁₂₀		30	3596	92138	51448	40690	79	
			60	3843	97221	51811	45410	87	
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (сроки посева и орошение)									
ПС-2. С/О		июнь	I декада	3355	87975	48994	38981	79	
			II декада	3416	88642	49287	39355	80	
			III декада	2080	47058	46561	497	1	
мерзлотная дерново-луговая почва (сроки посева и без орошения)									
ПС-3. С/БО		июнь	I декада	1798	62376	40019	22357	55	
			II декада	2478	45770	39078	6692	17	

Ранее подобная оценка представлена для кормовых культур аридных зон (Уланов, 2019) и для грубых кормов мерзлотных режимов Субарктики (Павлова, 2022). Конкурентность зеленой массы подсолнечника на рынке кормов может обеспечиваться только при внесении полного минерального удобрения (NPK₁₂₀) в условиях орошения. В этих случаях равновесная урожайность не уступала фактически полученному урожаю. По всем остальным вариантам конкурентность урожая подсолнечника не имеет веских экономических оснований.

Урожай суданской травы и оценка рисков возделывания: статистики, кормовая ценность и экономический эффект

При всей алогичности возделывания суданской травы (*Sorghum sudanense* L.) в мерзлотном земледелии включение этой культуры в реестр полноценных кормовых культур представляли вполне мотивированные риски (Попов, 1987). Последнее связано с отсутствием обоснованных приемов возделывания в крайне жестких почвенно-климатических условиях с высокими экономическими издержками. Отсутствие исследований с этой культурой на мерзлотных почвах также выступали сдерживающим фактором. Соответственно, предпринята попытка обосновать возможность получения урожая суданской травы и выстроить эффективные агротехнологические приемы ее возделывания в мерзлотных условиях. При этом, оценка урожайных, кинетических, энергетических и кормовых достоинств урожая зеленой массы суданской травы представляла высокую актуальность.

Теоретическое обоснование урожая. Согласно теоретическим подходам, обоснованная возможность получения урожая суданской травы на мерзлотных почвах по величине потенциального урожая определялась на уровне 273.3 ц/га (табл.6). При выраженном дефиците тепла действительно возможный урожай снижался значительно и находился в интервале 209.5 - 221.3 ц/га с наибольшей величиной при посеве во второй декаде июня. В производственном уровне расчетная величина урожая суданской травы достигала 100 - 180 ц/га. Причем, лучший срок посева в этой оценке определялся как первая декада июня.

Таблица 6. Теоретический и технологический уровень урожая суданской травы на мерзлотной аллювиальной дерновой почве, ц/га (расчетная оценка)

Уровни и категории урожая (зеленая масса)		Показатели по срокам посева		
		I декада июня	II декада июня	III декада июня
теоретический уровень				
ПУ	потенциальный урожай	273.3	273.3	273.3
ДВУ	действительно возможный	210.7	221.3	209.5
технологический уровень				
УПП	урожай по плодородию почв	241.9	231.9	131.9
УПО	урожай в полевых опытах	239.5	242.3	185.3
УП	урожай производственный	180.0	150.0	100.0
НСР ₀₅		20.4	21.4	23.4

Статистики урожая и сопряженность с абиотическими факторами. Фактический урожай суданской травы на варианте контроль оказался адекватно расчетному и в среднем не превышал 190.2 ± 12.8 ц/га с узким интервалом лимитов с небольшой величиной варьирования (табл.7). При внесении минеральных удобрений урожай суданской травы возрастал существенно, доказывая высокую отзывчивость на поступление извне дополнительных источников энергии в виде минеральных удобрений (табл.7).

На варианте с внесением минеральных удобрений урожай суданской травы достоверно превышал контрольный и в среднем достигал 248.2 ± 11.1 ц/га с высокой величиной верхнего лимита (268.6 ц) при высокой устойчивости величин (табл.7). Во всех случаях, различия в дозах минеральных удобрений (90 и 120) не оказали существенного влияния на величину урожая. Позитивный отклик растений суданской травы на внесение полного минерального удобрения на мерзлотных почвах выявлен впервые.

Таблица 7. Статистики урожая суданской травы на мерзлотных почвах по вариантам опытов при орошении, ц/га (зеленая масса)

Код опытов и варианты оценки				Показатели оценки, n = 9			
				M ± m	lim	V, %	
мерзлотная лугово-черноземная почва (минеральные удобрения)							
СТР-1. У/О	контроль, без удобрений	схема посева междуря дий, см	15	190.2 ± 12.8	170.3 - 214.1	17.0	
			30	180.4 ± 10.7	160.2 - 196.7	16.3	
	NPK ₉₀		15	238.3 ± 15.2	214.2 - 266.3	12.2	
			30	222.2 ± 13.7	201.6 - 248.2	11.2	
	NPK ₁₂₀		15	248.2 ± 11.1	230.3 - 268.6	9.9	
			30	231.0 ± 8.3	217.6 - 246.2	10.7	
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (сроки посева)							
СТР-2. С/О		I декада	июнь	239.5 ± 12.8	213.9 - 253.1	9.5	
		II декада		242.3 ± 26.0	190.5 - 272.7	10.3	
		III декада		185.3 ± 8.6	168.2 - 195.3	19.4	

НСР₀₅ междурядье 15 см 23.3; 30 см 18.6; орошение 27.5

В другом опыте (стр -2. С/О) на мерзлотной аллювиальной дерновой почве различия в урожае суданской травы при посеве в первой и второй декаде июня оказались статистически не доказанными и в среднем не превышали 242.3 ц/га с широким лимитом предельных значений (190.5 - 272.7 ц) при небольшой вариабельности (табл.7). Достоверно низкий урожай (185.3 ц/га) выявлен при посеве в третьей декаде июня (поздний срок посева).

Статистически доказанные различия в урожае суданской травы на мерзлотных почвах находились в высокой тесноте связи (r) с абиотическими факторами. На мерзлотной лугово-черноземной почве контрольного варианта (без удобрений) высокая теснота связей (r > 0.70) урожая с температурой воздуха и осадками выявлена в течении всего периода вегетации, за исключением второй декады июля с характером в виде прямой и обратной их зависимости. В отдельных случаях, теснота этих связей была очень высокой (r > 78) и приближалась к функциональной (r → 1). Аналогично высокая и очень высокая теснота урожая с этими факторами находилась на вариантах с внесением минеральных удобрений, которая оценивалась от высокой (r > 0.75) и очень высокой (r = 0.90 - 0.98) до функциональной (r → 1). Соответственно, урожай при внесении минеральных удобрений был наибольшим (табл.5). На мерзлотной аллювиальной дерновой почве, в отличие от этих корреляционных связей, теснота этих признаков по разным срокам посева была не столь выраженной и с температурами воздуха оказалась высокой только при посеве в третьей декаде июня, а по осадкам - во второй декаде июня.

Таким образом, достоверно высокий урожай суданской травы при возделывании на мерзлотных почвах получен при внесении полного минерального удобрения в сочетании с орошением и проведением посева в первой - второй декаде июня. В этом результате выявлена высокая теснота связей с факторами внешней среды, отражая позитивный эффект возделывания этой кормовой культуры.

Фенологические фазы и кинетика роста растений. Алогичность возделывания суданской травы на мерзлотной лугово-черноземной почве предопределила прохождение фенологических фаз развития. Растения проходили характерные фенологические фазы с различиями в датах наступления и в проявлениях по высоте. Различия последних не во всех случаях оказались статистически доказанными. К моменту уборки высота растений на варианте контроль (без удобрений) не превышала 154-160 см, а под влиянием

минеральных удобрений (NPK) достигала 200 см. Схожая панорама по фенологии и фитометрии наблюдалась на мерзлотной аллювиальной дерновой почве при орошении. По всем вариантам опытов кинетика роста (k) растений суданской травы в полевых условиях характеризовалась очень высокой скоростью нарастания. Во всех случаях, константа скорости (k) этого процесса оказалась очень высокой и находилась в пределах $k = 0.936 - 0.974$ в сутки, отражая скорость суточного прироста надземной массы суданской травы в мерзлотном земледелии. В этом смысле, эти кинетические показатели выявлены впервые для мерзлотных режимов.

Энергетические и кормовые достоинства. При возделывании этой культуры на мерзлотной лугово-черноземной почве под влиянием минеральных удобрений установлено изменение энергетического состояния посевов. При близких затратах совокупной энергии по вариантам (22.4 - 30.2 ГДж/га) внесение полного минерального удобрения сопровождалось возрастанием обменной и особенно валовой энергии, величина которой достигала соответственно 49.1 и 104.4 ГДж/га. Адекватно этому, возрастало и приращение валовой энергии в сравнении с контролем, которое достигало 71.5 - 74.2 ГДж при снижении показателя энергетического коэффициента до 3.23 (табл.8).

Отсюда, высокое энергетическое состояние посевов под влиянием минеральных удобрений (табл.8) сопровождалось значимо высоким урожаем (табл.7). Причем, изменение энергетического состояния посевов выступало одним из индикаторов получения высокого урожая в мерзлотных режимах региона.

Таблица 8. Энергетическая оценка посевов суданской травы при внесении минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве

Параметры оценки (при орошении)	Ед. изм.	Контроль		NPK ₉₀		NPK ₁₂₀	
		схема междурядий в посевах, см					
		15	30	15	30	15	30
Затраты совокупной энергии	ГДж га	22.6	22.4	28.4	28.1	30.2	29.9
Валовая энергия		79.2	75.4	99.9	93.1	104.4	96.7
Обменная энергия		36.9	34.7	46.8	43.5	49.1	45.2
Приращение валовой энергии		56.6	53.0	71.5	65.0	74.2	66.8
Энергетический коэффициент		3.51	3.36	3.52	3.31	3.46	3.23
Энергоемкость кормов, ц	ГДж	0.12	0.12	0.12	0.13	0.12	0.13
Энергет. коэфф. производства кормов		1.63	1.55	1.65	1.55	1.63	1.51

Схожая направленность изменения энергетического статуса посевов и кормовых достоинств суданской травы наблюдалась на мерзлотной аллювиальной дерновой почве. В этой оценке, энергетические изменения складывались с более высокими энергетическими показателями по всем параметрам в случае посева суданской травы в первой и второй декаде июня. Отсюда, высокий энергетический статус посевов суданской травы в этот период обеспечивал и достоверно высокий урожай зеленой массы.

Возрастание энергетического состояния посевов и урожая суданской травы под влиянием минеральных удобрений, особенно в случае их внесения, сопровождалось позитивным изменением кормовых достоинств зеленой массы (табл.9).

Содержание сырого протеина значимо возрастало в сравнении с вариантом контроль (без удобрений) и достигало 18.7% при устойчивом содержании клетчатки, жира и БЭВ (табл.9).

Таблица 9. Кормовые достоинства зеленой массы суданской травы при внесении минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве

Параметры оценки при орошении (по сырому веществу)		Контроль		NPK ₉₀		NPK ₁₂₀	
		схема междурядий в посевах, см					
		15	30	15	30	15	30
протеин	% на абс. сух. в-во	15.5	14.5	18.3	17.9	18.7	18.4
клетчатка		32.7	33.6	32.1	32.6	32.2	32.6
жир		2.5	2.4	2.6	2.5	2.9	2.6
зола		6.9	6.2	7.4	7.2	7.5	7.6
БЭВ		39.5	36.3	36.3	36.8	36.1	35.6
кормовая единица	кг/сух	0.61	0.60	0.62	0.62	0.63	0.62
переваримый протеин, г	в-во	114.3	104.5	142.2	136.7	144.1	141.4

НСР₀₅ протеин 2.2; клетчатка 3.8; жир 0.02; зола 0.03; БЭВ 3.1; кормовая единица 0.02; переваримый протеин 3.1

Позитивность возрастания кормовой ценности зеленой массы суданской травы при возделывании на мерзлотной лугово-черноземной почве выявлена по увеличению переваримого протеина, содержание которого при внесении минеральных удобрений (NPK₁₂₀) возрастало существенно и достигало 144.1 г. Отметим стабильное и устойчивое содержание клетчатки и жира.

Показатели кормовых достоинств суданской травы при возделывании на мерзлотной аллювиальной дерновой почве по содержанию сырого протеина не изменялись и находились в пределах 15 - 16.1% при стабильном содержании клетчатки, жира, золы и БЭВ. Значимые различия проявились при посеве в третьей декаде июня при достоверно высоком содержании переваримого протеина и кормовых единиц.

Экономический эффект возделывания. Возделывание суданской травы на мерзлотной лугово-черноземной почве при орошении и внесении минеральных удобрений позволило выявить экономическую эффективность. Рентабельности возделывания суданской травы при дефиците тепла и доминировании холода достигала 32% (табл.10).

Таблица 10. Экономическая оценка возделывания суданской травы на мерзлотных почвах по вариантам опытов при орошении, (зеленая масса)

Код опытов и варианты оценки				Продуктивность	Стоимость продукции	Прямые затраты	Условно чистый доход	Рентабельность	
				к.ед. с 1 га	руб / га			%	
мерзлотная лугово-черноземная почва (минеральные удобрения)									
СТР-1. У/О	контроль, без удобрений	схема посева междурядий, см	15	1891	43746	37839	5907	16	
			30	2294	41492	37678	3814	10	
	NPK ₉₀		15	2142	59575	45114	14461	32	
			30	2040	55550	44850	10700	24	
	NPK ₁₂₀		15	2356	62050	47439	14611	31	
			30	2170	57750	47156	10594	22	
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (сроки посева)									
СТР-2. С/О		июнь	I декада	4148	59875	45140	14735	32	
			II декада	4209	60575	45431	15144	33	
			III декада	3445	46325	44739	1586	4	

На мерзлотной аллювиальной дерновой почве возделывание суданской травы в условиях орошения оказалось экономически оправданным при посеве в первой и второй декаде июня - уровень рентабельности достигал 33%, а в случае посева в третьей декаде июня не эффективным - уровень рентабельности не превышал 4% (табл.10). Возделывание суданской травы на мерзлотных почвах при внесении минеральных удобрений, орошении и в сочетании лучших сроков посева обеспечивало и высокую конкурентность урожая. Подобное обусловлено величиной высокого урожая, которая превышала показатель равновесной урожайности (РУ) с высоким показателем вклада в покрытие постоянных издержек (ВППИ).

Урожай кукурузы и специфика возделывания: статистики, энергетические и кормовые достоинства, экономический эффект

Одна из наиболее продуктивных однолетних кормовых культур в качестве зеленого корма и силосной массы представляла, несомненно, актуальность в значительном пополнении кормовой базы, которая остается скудной с выраженным дефицитом энергетических и кормовых достоинств, отражая в этом наиболее уязвимую позицию. В этой связи, обоснование урожая и разработка агротехнологических приемов возделывания кукурузы при минимальных экономических рисках в суровых мерзлотных режимах позволяет раскрыть высокий ее потенциал и в мерзлотном земледелии этого региона.

Теоретическое обоснование урожая. Расчетная величина потенциального урожая кукурузы по приходу и использованию ФАР в Арктических широтах при дефиците тепловых ресурсов и доминировании холодных воздушных масс в годовом обороте оценивалась 484.9 ц с величиной действительно возможного урожая при ярко выраженном дефиците тепла ДВУ в диапазоне 359.5 - 379.7 ц/га (табл.11). В технологическом уровне оценок урожай снижался значительно и по показателям плодородия мерзлотных почв и разным календарным срокам посева находился в очень широком диапазоне - 159.6 - 339.6 ц/га. В производственных посевах урожай снижался значительно - до 110 ц без орошения и до 250 ц/га при орошении (табл.11). Причем, лучшим сроком посева выступала первая декада июня.

Таблица 11. Теоретический и технологический уровень урожая кукурузы на мерзлотных почвах, ц/га (расчетная оценка)

Уровни и категории урожаев (зеленая масса)		мерзлотная аллювиальная дерновая почва			мерзлотная дерново- луговая почва	
		сроки посева (декада июня)				
		I декада	II декада	III декада	I декада	II декада
теоретический уровень						
ПУ	потенциальный урожай	484.9	484.9	484.9	484.9	484.9
ДВУ	действительно возможный	361.5	379.7	359.5	363.1	371.4
технологический уровень						
УПП	урожай по плодородию почв	309.6	339.6	159.6	209.6	199.6
УПО	урожай в полевых опытах	346.6	322.8	137.1	228.2	289.3
УП	урожай производственный	250.0	220.0	150.0	160.0	110.0
НСР ₀₅		35.2	37.3	36.4	41.2	45.6

В подобном расчётном обосновании урожая кукурузы, ранжирование величин на мерзлотных почвах снижалось от теоретического (ПУ → ДВУ) к технологическому

уровню: УПП → УПО → УП (табл.11). В этой оценке подобное позволило выстроить «вертикаль» урожаев кукурузы в типичных режимах мерзлотного земледелия, которая представлена впервые.

Статистики урожая и сопряженность с абиотическими факторами. Урожай кукурузы на мерзлотных почвах складывался различно и определялся откликом растений на агротехнологические приемы возделывания и на абиотические факторы мерзлотного режима.

На мерзлотной лугово-черноземной почве в условиях орошения на варианте без удобрений (контроль) урожай оказался значимо ниже в отличие от варианта с внесением минеральных удобрений при широком диапазоне величин с небольшой вариабельностью (табл.12). Различия в дозах внесения удобрений (NPK_{90} и NPK_{120}) не оказали значимого влияния на урожай. В этом случае, урожай по выборочной средней достигал 365.1 ± 16.6 ц/га при узком диапазоне лимитов с высокой устойчивостью (табл.12).

На мерзлотной аллювиальной дерновой почве статистики урожая при орошении были значимо ниже при позднем посеве (третья декада июня) и не превышали в среднем 137.1 ± 7.9 ц/га с узкими лимитами (125.8 - 152.2 ц) (табл.12). Причём, достоверно высокий урожай кукурузы достигнут при посеве в первой и второй декаде июня, величина которого по выборочной средней составила 346.6 ± 8.6 ц/га с высокими значениями лимитов (табл.12). В этом случае, урожай кукурузы оказался статистически сопоставим с урожаем, который получен под влиянием внесения минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве. Отсюда, внесение минерального удобрения (NPK) на мерзлотной лугово-черноземной почве и посев в лучшие агротехнологические сроки (I и II декада июня) на мерзлотной аллювиальной дерновой и дерново-луговой почвах имели сопоставимый эффект. В отсутствии орошения урожай на мерзлотной дерново-луговой почве по двум срокам посева (I-VI и II-VI) был существенно ниже и во второй декаде июня складывался как наибольший, составляя в среднем 289.3 ± 27.1 ц/га (табл.12).

Таблица 12. Статистики урожая кукурузы на мерзлотных почвах по разным вариантам опытов, ц/га (зеленая масса)

Код опытов и варианты оценки				Показатели оценки, n = 11		
				M ± m	lim	V, %
мерзлотная лугово - черноземная почва (минеральные удобрения и орошение)						
КК-1. У/О	контроль, без удобрений	схема посева между- рядий, см	30	232.1 ± 18.0	207.4 - 267.1	13.4
			60	239.8 ± 17.0	211.8 - 270.4	12.3
	NPK ₉₀		30	332.4 ± 13.9	308.4 - 356.7	7.3
			60	340.1 ± 12.3	318.2 - 360.8	6.3
	NPK ₁₂₀		30	351.3 ± 18.0	318.0 - 379.6	8.9
			60	365.1 ± 16.6	324.6 - 381.2	8.1
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (сроки посева и орошение)						
КК-2. С/О		I декада	июнь	346.6 ± 8.6	330.3 - 359.6	4.3
		II декада		322.8 ± 21.4	281.1 - 352.2	11.5
		III декада		137.1 ± 7.9	125.8 - 152.2	9.9
мерзлотная дерново - луговая почва (сроки посева и без орошения)						
КК-3. С/БО		I декада	июнь	228.2 ± 24.7	184.5 - 270.1	18.8
		II декада		289.3 ± 27.1	238.4 - 331.1	16.3

НСР₀₅ междурядье 30 см 26.4 и 60 см 36,4; орошение 28.7; без орошения 39.5

По результатам корреляционного анализа доказана высокая и устойчивая теснота связей (r) урожая кукурузы с показателями температур и величиной осадков с различиями по почвам и вариантам опытов, несмотря на повсеместное доминирование холода. На мерзлотной лугово-черноземной почве достоверно низкий урожай кукурузы на контроле (табл.12) определялся высокой ($r = 0.80$) и очень высокой ($r = 0.98$) теснотой (r) с температурами воздуха в первой декаде июня, второй декаде июля и первой декаде августа при практически повсеместно высокой тесноте с осадками. При внесении минеральных удобрений (NPK) значимо высокий урожай (табл.12) обеспечивался аналогично высокой и очень высокой теснотой с температурами воздуха и осадками в течение сезона. Возможно, внесение минеральных удобрений сопровождалось изменением энергетического состояния посевов, обеспечивая вкуче с абиотическими признаками, высокий позитивный эффект.

На мерзлотной аллювиальной дерновой почве при оценке разных сроков посева в условиях орошения выявлена высокая теснота связей ($r = 0.76 - 0.85$) урожая с температурами воздуха только однажды - в первой декаде июля, а по осадкам - в первой и второй декаде июля. При посеве в третьей декаде июня выборка сильной тесноты (r) по этим признакам в течении сезон возрастала. На мерзлотной дерново-луговой почве, в отсутствии орошения, зависимость урожая по этим признакам возрастала значительно, особенно по осадкам и практически в каждой декаде полевого сезона имела высокую и очень высокую их тесноту ($r = 0.78 - 0.98$). Соответственно, по всем парным признакам, независимо от различий в плодородии мерзлотных почв и гидротермического состояния посевов, выявлена общая специфическая направленность - значимая высокая теснота связей с температурами воздуха имела повсеместно обратный характер с высокой и прямой зависимостью по осадкам.

Фенологические фазы и кинетика роста растений. Прохождение фенологических фаз развития растений кукурузы при дефиците солнечной инсоляции и доминировании холода имело специфические особенности, в частности - позднее и замедленное появление всходов и фазы 3-4-х пары листьев, растянутый во времени период бутонизации и короткий период цветения при небольшой общей высоте растений в посевах. Как следствие, кинетика нарастания надземной массы кукурузы в этих режимах имела экспоненциальный характер, константа (k) скорости которой в суточном приросте (h , см), независимо от вариантов опыта, отражала высокую ($k = 0.870$ в сутки) и очень высокую ($k = 0.999$ в сутки) скоростную составляющую этого процесса во времени.

Энергетические и кормовые достоинства. Воздействие минеральных удобрений в сочетании с орошением сопровождалось не только значимым ростом урожая зеленой массы кукурузы (табл.12), но и возрастанием энергетического состояния посевов (табл.13), а равно кормовой их ценности (табл.14). Подобные изменения наблюдались по мерзлотным почвам с разной степенью проявлений при общем высоком позитивном отклике растений. На мерзлотной лугово-черноземной почве значимое увеличение урожая обеспечивалось изменением энергетического состояния посевов под влиянием минеральных удобрений при орошении в направлении возрастания по всем основным параметрам (табл.13).

Под влиянием минеральных удобрений при сопоставимых затратах совокупной энергии по вариантам опыта значительно, в сравнении с контролем (без удобрений), возрастали показатели обменной и валовой энергии достигая соответственно 76.3 и 160.9 ГДж/га против 44.5 и 101 ГДж/га на варианте без удобрений (табл.13). Как следствие, почти вдвое возрастало приращение валовой энергии - с 77.2 на контроле до 128.1 ГДж при внесении минеральных удобрений (NPK) и показатели энергетического коэффициента с 1.87 до 2.32 соответственно.

Таблица 13. Энергетическая оценка посевов кукурузы при внесении минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве

Параметры оценки (при орошении)	Ед. изм.	Контроль		NPK ₉₀		NPK ₁₂₀	
		схема междурядий в посевах, см					
		30	60	30	60	30	60
Затраты совокупной энергии	ГДЖ га	23.8	24.0	30.6	30.4	32.6	32.8
Валовая энергия		101.0	106.5	147.8	150.8	155.2	160.9
Обменная энергия		44.5	47.3	69.1	71.0	73.1	76.3
Приращен. валовой энергии		77.2	82.5	117.2	120.4	122.6	128.1
Энергетический коэффициент		4.24	4.44	4.83	4.96	4.76	7.91
Энергоемкость кормов, ц	ГДЖ	1.03	1.00	0.92	0.59	0.93	0.90
Энергетический коэфф. произ-ва кормов		1.87	1.97	2.26	2.34	2.24	2.32

Отсюда, позитивное возрастание энергетического статуса посевов кукурузы при внесении минеральных удобрений обеспечивало существенный рост урожаев в жестких мерзлотных режимах. В противном случае последнее невозможно достигнуть (Куликов и др., 1997; Савич и др., 2007, 2010; Железняк, 2020; Иванов и др., 2024).

Адекватно изменению энергетического состояния посевов под нагрузкой минеральных удобрений выявлено улучшение кормовой ценности зеленой массы кукурузы (табл.14). При значимом возрастании содержания сырого протеина (с 17.1 до 20.3%) под влиянием минеральных удобрений наблюдалось достоверное увеличение содержания жира и золы при неизменном содержании БЭВ (табл.14).

В результате этого, значимо возросло присутствие переваримого протеина и кормовых единиц. Последние при расширении реестра кормовых культур и наполнении кормовой базы сочными кормами с высокими кормовыми достоинствами представляют несомненную значимость.

Таблица 14. Кормовые достоинства зеленой массы кукурузы при внесении минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве

Параметры оценки при орошении (по сырому веществу)		Контроль		NPK ₉₀		NPK ₁₂₀	
		схема междурядий в посевах, см					
		30	60	30	60	30	60
протеин	% на абс. сух. в-во	17.8	17.1	20.3	19.8	20.0	19.3
клетчатка		35.6	35.2	32.7	31.7	31.9	31.5
жир		2.3	2.4	2.6	2.8	2.6	2.7
зола		5.5	5.5	6.7	7.1	6.9	7.2
БЭВ		36.2	37.3	34.8	34.6	35,8	35.9
кормовая единица	кг/сух	0.57	0.58	0.64	0.65	0.64	0.65
переваримый протеин, г	в-во	127.4	121.0	158.1	156.8	149.2	148.4

НСР₀₅ протеин 1.5; клетчатка 2.5; жир 0.01; зола 0.03; БЭВ 3.5; кормовых единиц 0.01; переваримый протеин 3.1

На мерзлотных аллювиальной дерновой и дерново-луговой почвах изменение энергетического состояния посевов и кормовых достоинств продукции под воздействием агротехнологических приемов (орошение, разные сроки посева) оказалось менее выраженным и сопровождалось меньшим энергетическим откликом. В наиболее общем виде подобный «пассивный» характер воздействия этих признаков обусловлен меньшей «энергетической их активностью» в сравнении с минеральными удобрениями, особенно в отсутствии орошения. Как следствие, при одних сроках посева (первая и вторая декада

июня), но с различиями в режимах орошения на мерзлотной аллювиальной дерновой почве и без орошения на мерзлотной дерново - луговой почве, энергетический статус посевов кукурузы в последних режимах складывался с более низким уровнем.

С позиций энергетического обмена и достигнутого энергетического состояния посевов кукурузы наиболее высокий статус в условиях орошения обеспечивался при раннем посеве в первой декаде июня. При поздних сроках посева (третья декада июня), даже при орошении, энергетический статус посевов оказался значительно ниже богарных условий. Отсюда, урожай при позднем посеве был минимальным и не превышал в среднем 137.1 ± 7.9 ц/га (табл.12). Низкое энергетическое состояние посевов не обеспечивало значительный рост урожая в мерзлотных режимах, отражая в этом проявлении ключевую значимость энергетических усилий в мерзлотных режимах (Савич и др.,2007; Иванов и др.,2024).

Адекватно этим зависимостям складывались и показатели кормовой ценности продукции с дефицитом сырого протеина и клетчатки при меньшем содержании переваримого протеина в условиях богары (без орошения). Как следствие, ранжирование мерзлотных почв по изменению урожая, энергетического состояния посевов и кормовых их достоинств под влиянием агротехнологических приемов снижалось в ряду: мерзлотная лугово-черноземная → мерзлотная аллювиальная дерновая → мерзлотная дерново-луговая.

Экономический эффект возделывания. Позитивный экономический эффект возделывания кукурузы на мерзлотной лугово-черноземной почве выявлен при внесении полного минерального удобрения (NPK_{120}) при орошении. В этом случае наблюдался наибольший условный чистый доход, который почти втрое превышал аналогичный варианта контроль (без удобрений) с уровнем рентабельности 71 % против 42 % соответственно (табл.15).

Таблица 15. Экономическая оценка возделывания кукурузы на мерзлотных почвах по разным вариантам опытов (зеленая масса)

Код опытов и варианты оценки				Продукти вность	Стоимость продукции	Прямые затраты	Условно чистый доход	Рента- бель- ность	
				к.ед. с 1 га	руб / га			%	
мерзлотная лугово-черноземная почва (минеральные удобрения и орошение)									
КК-1. У/О	контроль, без удобрений	схема посева между- рядий, см	30	3010	55704	40477	15227	38	
			60	3236	57552	40604	16948	42	
	NPK ₉₀		30	4947	79776	48616	31160	64	
			60	5142	81624	48742	32882	67	
	NPK ₁₂₀		30	5229	84312	51082	33230	65	
			60	5519	87624	51309	36315	71	
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (сроки посева и орошение)									
КК-2. С/О		июнь	I декада	4810	83184	48405	34779	72	
			II декада	4554	77472	48259	29213	61	
			III декада	1943	32904	45453	-12549	-28	
мерзлотная дерново-луговая почва (сроки посева и без орошения)									
КК-3. С/БО		июнь	I декада	3417	54768	39313	15455	39	
			II декада	4290	69432	40561	28871	71	

Критерии оценки урожая по возделыванию кукурузы на мерзлотных почвах, а равно риски, связанные с жесткими гидротермическими условиями, позволили обосновать экономическую целесообразность введения кукурузы в реестр продуктивных и ценных кормовых культур в земледелие этого региона.

Экономически оправданным агротехнологическим приемом служило обязательное внесение полного минерального удобрения (NPK_{120}) с посевом в ранние сроки при орошении (табл.15).

Во всех остальных случаях (поздние сроки посева при орошении, богара без минеральных удобрений), риски возделывания этой ценной кормовой культуры на мерзлотных почвах оказались экономически высокими. При этом, конкурентная способность урожая кукурузы на рынке кормовых культур в мерзлотных режимах оказалась достаточно высокой. Подобное обусловлено высоким урожаем (табл.12) и высокой обеспеченностью энергетическими (табл.13) и кормовыми достоинствами продукции (табл.14). Анализ показателей вклада в покрытие постоянных переменных издержек (ВППИ) и равновесной урожайности (РУ) отражал, за редким исключением, высокую конкурентность возделывания кукурузы в качестве полноценной кормовой культуры.

Таким образом, на мерзлотной лугово-черноземной почве выявлен значимо позитивный экономический отклик возделывания кукурузы при внесении минеральных удобрений и вегетационного полива, а на мерзлотной дерново-луговой почве - при посеве во второй декаде июня без орошения. Экономические риски возделывания кукурузы на зеленую массу в мерзлотном земледелии при внедрении адресных агротехнологических приемов оказались не столь выраженными.

Урожай редьки масличной и риски возделывания: статистики, энерго-протеиновые достоинства и экономический эффект

Общепризнанная высокая продуктивность редьки масличной (*Raphanus sativus* L.) с высокой адаптивной функцией к неблагоприятным режимам (Вавилов, 1981; Посыпанов, 2007; Троц, 2013; Кашеваров и др., 2016) послужила обоснованием урожаев и разработке технологии возделывания этой культуры в мерзлотных режимах в отсутствии исследований по этой кормовой культуре в условиях Республики Саха (Якутия).

Теоретическое обоснование урожаев. Расчетная величина потенциального урожая при дефиците солнечной инсоляции и поступления ФАР редьки масличной оценивалась достаточно высоко, составляя 429.9 ц/га (табл.16).

Таблица 16. Теоретический и технологический уровень урожая редьки масличной на мерзлотной аллювиальной дерновой почве, ц/га (расчетная оценка)

Уровни и категории урожаев (зеленая масса)		Показатели по срокам посева		
		I декада июня	II декада июня	III декада июня
теоретический уровень				
ПУ	потенциальный урожай	429.9	429.9	429.9
ДВУ	действительно возможный	297.8	312.8	296.2
технологический уровень				
УПП	урожай по плодородию почв	231.4	211.4	151.4
УПО	урожай в полевых опытах	203.7	209.3	173.6
УП	урожай производственный	170.0	180.0	130.0
НСР ₀₅		20.8	20.2	22.1

Действительно возможный урожай при дефиците тепловых ресурсов снижался значительно и находился в интервале величин 296.2 - 312.8 ц/га (табл.16). В последующих оценках, урожай продолжал снижаться уже в производственных условиях определялся в интервале 130 - 180 ц/га. По сути, уровень рассчитанных теоретических и производственных урожаев подчинялся общепризнанному классическому ранжированию (Шатилов и др., 1982; Каюмов, 1987).

Статистики урожая и сопряженность с абиотическими факторами. На мерзлотной лугово-черноземной почве урожай редьки масличной на варианте контроль (без удобрений) оказался невысоким и в среднем не превышал 177.5 ± 9.8 ц с низким диапазоном предельных величин (128.3 - 158.0 ц) при высокой их устойчивости (табл.17).

Таблица 17. Статистики урожая редьки масличной на мерзлотных почвах по вариантам опытов при орошении, ц/га (зеленая масса)

Код опытов и варианты оценки				Показатели оценки, n = 9			
				M ± m	lim	V,%	
мерзлотная лугово-черноземная почва (минеральные удобрения)							
PM-1. У/О	контроль, без удобрений	схема посева между- рядий, см	15	177.5 ± 9.8	158.0 - 199.3	9.6	
			30	161.7 ± 5.0	128.3 - 164.3	5.4	
	NPK ₉₀		15	202.2 ± 6.8	192.3 - 230.2	5.8	
			30	191.6 ± 3.1	186.5 - 212.3	2.8	
	NPK ₁₂₀		15	218.8 ± 18.5	209.3 - 254.6	14.6	
			30	212.2 ± 16.7	200.3 - 241.2	13.6	
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (сроки посева)							
PM-2. С/О		I декада	июнь	203.7 ± 18.4	184.1 - 240.6	15.7	
		II декада		209.3 ± 5.3	202.5 - 219.8	4.4	
		III декада		173.6 ± 18.9	145.4 - 209.5	18.9	

НCP₀₅ междурядье 15 см 20.2 и 30 см 17.3; орошение 24.5

Статистики урожая по средним значениям (161.7 - 177.5 ц) и по интервалу предельных величин (128.3 - 199.3 ц) были на уровне условий производства (130 - 180 ц) в технологической оценке (табл.16). Под влиянием минеральных удобрений (NPK) урожай достоверно возрастал и в среднем достигал 218.8 ± 18.5 ц с высокими верхними лимитами с невысокой величиной варьирования.

На мерзлотной аллювиальной дерновой почве значимо высокий урожай получен в случае посева в первой и второй декаде июня, который в среднем достигал 209.3 ± 5.3 ц с широким диапазоном лимитов и незначительной величиной варьирования (табл.17). При позднем посеве в третьей декаде июня урожай был существенно ниже (173.6 ± 18.9 ц/га) с низкими пределами (145.4 - 209.5 ц/га) и большей неустойчивостью (V = 18.9%). Во всех случаях, урожай редьки масличной на мерзлотных почвах в условиях орошения оказался наибольшим при внесении минерального удобрения (NPK₁₂₀). При этом, различия в схеме посевов по междурядьям не оказали значимого влияния и лучшими сроками посева этой культуры на мерзлотных почвах выступала первая половина июня (табл.17).

Выявленный урожай находился в разной тесноте связей (r) с температурами воздуха и осадками. На мерзлотной лугово-черноземной почве урожай на варианте контроль (без удобрений) и с внесением минеральных удобрений (NPK) находился в высокой, а порой очень высокой тесноте связи ($r = 0.76 - 0.98$) с температурами воздуха, вплоть до функциональной ($r \rightarrow 1$). Аналогично высокий характер сопряженности наблюдался и по осадкам по всем вариантам опытов. На мерзлотной аллювиальной дерновой почве

зависимости этих парных признаков оказались также высокими при сильной тесноте (r) с температурами воздуха и осадками в первом сроке посева ($r = 0.69 - 0.95$) и менее выраженными - втором сроке посева. При позднем третьем сроке посева эти зависимости (r) были слабыми. Во всех случаях, высокая теснота связей с абиотическими факторами выявлена при посеве редьки масличной первой-второй декаде июня - коэффициенты парной корреляции (r) были высокими ($r > 0.70$) и очень высокими ($r = 0.82 - 0.92$) вплоть до функциональной ($r \rightarrow 1$) с прямым и обратным характером.

Таким образом, урожай редьки масличной на типичных мерзлотных почвах в условиях орошения оказался достоверно высоким при внесении полного минерального удобрения (NPK_{90} и NPK_{120}) с высокой сопряженностью урожая с показателями температур воздуха и осадков в течении вегетации.

Фенологические фазы и кинетика роста растений. При мониторинге фенологических фаз редьки масличной выявленные этапы (всходы - розетка листьев - бутонизация - цветение) отражали специфические проявления (позднее наступление, медленный рост на начальных этапах, слабое развитие). При этом, высота растений к моменту уборки в фазе цветения, независимо от вариантов опытов, при орошении не превышала в среднем 86 ± 5.0 см. Кинетика роста редьки масличной, даже при наличии жестких режимов, характеризовалась высокими скоростными константами (k), величина которых оказалась высокой и достигала $k = 0.815 - 1.011$ в сутки. Последние отражали очень высокую кинетику нарастания надземной массы в суточном приросте.

Энергетические и кормовые достоинства. Под влиянием минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве наблюдалось изменение энергетического состояния посевов. При близких значениях затрат совокупной энергии по вариантам (табл.18) показатели обменной и валовой энергии возрастали, особенно на вариантах с внесением минеральных удобрений достигая 51.1 и 101.6 ГДж соответственно с одновременным повышением показателя приращения валовой энергии (табл.18). При этом, возрастание энергетического статуса посевов сопровождалось достоверным ростом урожая редьки масличной и кормовых достоинств (табл.19).

Отметим возрастание энергоемкости кормов при внесении удобрений, показатель которой возрастал до 1.44 против 1.26 на контроле и устойчивости энергетического коэффициента при производстве кормов (табл.18).

Таблица 18. Энергетическая оценка посевов редьки масличной при внесении минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве

Параметры оценки (при орошении)	Ед. изм.	Контроль		NPK ₉₀		NPK ₁₂₀	
		схема междурядий в посевах, см					
		15	30	15	30	15	30
Затраты совокупной энергии	ГДж га	22.4	22.1	27.8	27.6	29.7	29.6
Валовая энергия		82.1	74.8	94.9	89.4	101.6	99.7
Обменная энергия		39.9	36.8	47.5	44.5	51.1	50.0
Приращение валовой энергии		59.7	52.7	67.1	61.8	71.9	70.1
Энергетический коэффициент		3.66	3.38	3.41	3.24	3.42	3.37
Энергоемкость кормов, ц	ГДж	1.26	1.37	1.37	1.44	1.36	1.39
Энергетический коэффиц. произ-ва кормов		1.78	1.66	1.71	1.61	1.72	1.69

Значимое увеличение урожая редьки масличной и изменение энергетического статуса посевов под влиянием вносимых минеральных удобрений при орошении обеспечивало изменение и кормовых достоинств зеленой массы.

По всем вариантам опыта выявлено значимое увеличение содержания сырого протеина с 16.9 % на варианте контроль (без удобрений) до 21.1% при внесении минеральных удобрений с направленностью увеличения содержания зольных элементов и устойчивом содержании клетчатки, жира и БЭВ (табл.19).

Таблица 19. Кормовые достоинства зеленой массы редьки масличной при внесении минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве

Параметры оценки при орошении (по сырому веществу)		Показатели оценки по вариантам опыта					
		контроль		NPK ₉₀		NPK ₁₂₀	
		схема междурядий в посевах, см					
		15	30	15	30	15	30
протеин	% на абс. сух. в-во	16.9	17.1	20.8	21.1	20.2	20.6
клетчатка		30.4	30.0	28.1	29.1	28.8	28.7
жир		2.1	2.2	2.5	2.4	2.5	2.6
зола		6.9	7.8	8.6	8.5	8.8	8.0
БЭВ		39.7	40.1	36.8	35.7	36.8	37.0
кормовая единица	кг/сух	0.64	0.66	0.71	0.69	0.69	0.70
переваримый протеин, г	в-во	127.4	128.7	165.8	166.5	156.2	161.8

НСР₀₅ протеин 2.4; клетчатка 4.1; жир 0.02; зола 0.04; БЭВ 3.4; кормовая единица 0.01; переваримый протеин 4.2

Отсюда, при изменении энергетического состояния посевов и возрастании содержания сырого протеина под влиянием минеральных удобрений на фоне орошения наблюдалось значимое увеличение переваримого протеина, содержание которого возрастало с 127.4 до 166.5 г (табл.19).

Аналогичный отклик изменения энергетических ресурсов выявлен и на мерзлотной аллювиальной дерновой почве при оценке разных сроков посева редьки масличной. Отметим отсутствие различий по ключевым параметрам оценки кормовых достоинств по мерзлотным почвам. Последние при разных сроках посева возрастали по сырому протеину до 23.3% и переваримому - до 176.2 г.

Экономический эффект возделывания. При дискуссионности оценок по возделыванию редьки масличной в жестких режимах мерзлотного земледелия, экономические риски получения урожая оказались резонны (табл.20). Анализ экономического эффекта возделывания редьки масличной показал низкий уровень рентабельности, который не превышал 7 - 17 % (табл.20). Причем, в некоторых случаях (вариант контроль, без удобрений) рентабельность была или низкой, или отсутствовала. Отсюда, экономические риски возделывания редьки масличной в мерзлотном земледелии остаются высокими. Последние подтвердились на мерзлотной аллювиальной дерновой почве при позднем посеве в третьей декаде июня в отсутствии рентабельности возделывания (табл.20).

Таким образом, редька масличная в качестве полноценной кормовой культуры следует рассматривать как потенциальный резерв пополнения кормовой базы при расширении реестра кормовых культур. Не во всех случаях высокий урожай на мерзлотных почвах обеспечивался существенным изменением энергетического состояния посевов и кормовых достоинств продукции. Как следствие, экономические риски возделывания в мерзлотном земледелии региона сохраняются высокими. Последнее подтверждается и экономической оценкой конкурентной способности урожая.

Таблица 20. Экономическая оценка возделывания редьки масличной на мерзлотных почвах по вариантам опытов при орошении (зеленая масса)

Код опытов и варианты оценки			Продуктивность	Стоимость продукции	Прямые затраты	Условно чистый доход	Рентабельность		
			к.ед. с 1 га	руб / га			%		
мерзлотная лугово-черноземная почва (минеральные удобрения)									
PM-1. У/О	контроль, без удобрений	схема посева между-рядий, см	15	2840	40825	37736	3089	8	
			30	2655	37191	37802	-611	-2	
	NPK ₉₀		15	3589	50550	44763	5787	13	
			30	3289	47900	44697	3203	7	
	NPK ₁₂₀		15	3793	54700	46711	7989	17	
			30	3714	53050	46645	6405	14	
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (сроки посева)									
PM-2. С/О		июнь	I декада	2800	50925	44829	6096	14	
			II декада	2952	52325	45166	7159	16	
			III декада	2414	43400	44825	-1425	-3	

Только подбор лучших сроков посева позволяет надеяться на экономическую обоснованность возделывания и получения урожая этой культуры в мерзлотных режимах, который может быть конкурентным на товарном рынке кормовых культур. По всем остальным признакам (минеральные удобрения, схемы посева) конкурентность урожая практически не позволяет ожидать экономический эффект возделывания.

Урожай просо и риски возделывания: статистики, энергетические и кормовые достоинства, экономический эффект

Признанная пластичность культуры просо с высокими кормовыми достоинствами и адаптационными способностями не уступает сену многолетних трав (Прянишников, Якушкин, 1938; Посыпанов и др., 1997) представляет, несомненный, интерес с позиций расширения и пополнения кормовой базы Республики Саха (Якутия). Помимо этого, просо является отличной страховой культурой, которая позволяет получать урожай после уборки рано убираемых других кормовых культур, а также при невозможности получения достойного урожая других кормовых культур. Агротехнологические решения по возделыванию просо на мерзлотных почвах этого региона до настоящих времен, к сожалению, отсутствуют.

Теоретическое обоснование урожая. Потенциальный урожай культуры просо в теоретическом обосновании (274.3 ц/га) и действительно возможный (283.3-299.7 ц/га) оценивался как достаточно высокий (табл.21). В реалиях мерзлотных режимов урожай на технологическом (производственном) уровне снижался значительно и определялся по почвенному плодородию (УПП) величиной 118.8 - 208.8 ц, полевых опытах (УПО) - 107.0 - 217.2 ц и в условиях производства (УП) до 100 - 160 ц/га зеленой массы. Величина урожая при посеве в третьей декаде июня оказалась минимальной (табл.21). Как следствие, урожай просо на мерзлотной аллювиальной дерновой почве следует ожидать на уровне 100-160 ц/га, исходя из сроков посева.

Расчетные уровни урожая просо в мерзлотном земледелии отражали признанный факт их ранжированного снижения от идеальных к реальным.

Таблица 21. Теоретический и технологический уровень урожая просо на мерзлотной аллювиальной дерновой почве, ц/га (расчетная оценка)

Уровни и категории урожаев (зеленая масса)		Показатели по срокам посева		
		I декада июня	II декада июня	III декада июня
теоретический уровень				
ПУ	потенциальный урожай	274.3	274.3	274.3
ДВУ	действительно возможный	285.3	299.7	283.3
технологический уровень				
УПП	урожай по плодородию почв	208.8	188.8	118.8
УПО	урожай в полевых опытах	217.2	186.5	107.0
УП	урожай производственный	140.0	160.0	100.0
НСР ₀₅		23.2	22.4	20.6

Статистики урожая и сопряженность с абиотическими факторами. Урожай просо на мерзлотных почвах при орошении складывался различно (табл.22). На мерзлотной лугово-черноземной почве определялся внесением полного минерального удобрения, а на мерзлотной аллювиальной дерновой почве - календарными сроками посева.

На мерзлотной лугово-черноземной почве минимальный урожай наблюдался на варианте контроль (без удобрений) и в среднем составил 156.4 ± 9.8 ц/га с диапазоном лимитов 128.3 - 178.2 ц и незначительной величиной варьирования (табл.22). Урожай просо при внесении минеральных удобрений (NPK₁₂₀) оказался достоверно высоким и в среднем составил 230 ± 18.5 ц с высокими верхними лимитами - 241.2 и 254.6 ц/га (табл.22).

На мерзлотной аллювиальной дерновой почве отклик просо на варьирование сроков посева оказался менее эффективным и урожай в лучшем варианте при посеве в первой декаде июня составил в среднем 217.2 ± 7.8 ц и был минимальным при посеве в третьей декаде июня - 107.0 ± 16.1 ц/га (табл.22).

Следовательно, в жестких режимах мерзлотного земледелия высокий урожай просо более определялся внесением минеральных удобрений и был минимальным (ниже контрольного) при посеве в третьей декаде июня.

Таблица 22. Статистики урожая просо на мерзлотных почвах по вариантам опытов при орошении, ц/га (зеленая масса)

Код опытов и варианты оценки				Показатели оценки, n = 9			
				M ± m	lim	V,%	
мерзлотная лугово-черноземная почва (минеральные удобрения)							
ПР-1. У/О	контроль, без удобрений	схема посева между- рядий, см	15	156.4 ± 9.8	136.9 - 178.2	10.9	
			30	148.2 ± 5.0	128.3 - 164.3	5.9	
	NPK ₉₀		15	212.0 ± 6.8	192.3 - 230.2	5.5	
			30	201.1 ± 3.1	186.5 - 212.3	2.7	
	NPK ₁₂₀		15	230.0 ± 18.5	209.3 - 254.6	13.9	
			30	219.6 ± 16.7	200.3 - 241.2	13.2	
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (сроки посева)							
ПР-2. С/О		I декада	июнь	217.2 ± 7.8	207.3 - 232.7	6.2	
		II декада		186.5 ± 5.5	176.9 - 195.8	5.1	
		III декада		107.0 ± 16.1	85.0 - 138.4	26.1	

НСР₀₅ междурядье 15 см 19.9 и 30 см 17.5; орошение 18.1

По результатам корреляционного анализа выявлена высокая теснота урожая просо с факторами внешней среды, которые складывались различно, в т.ч. по характеру проявлений. На мерзлотной лугово-черноземной почве высокая теснота признаков на варианте контроль выявлена по температурам воздуха во второй декаде июля ($r = 0.95 \pm 0.2 \dots r = 0.98 \pm 0.1$) и в первой декаде августа ($r = 0.85 \pm 0.3 \dots r = 0.89 \pm 0.2$), а по осадкам - в первой декаде июля ($r = -0.92 \pm 0.5 \dots r = -0.96 \pm 0.5$) и первой - второй декаде августа ($r = -0.73 \pm 0.3 \dots r = -0.92 \pm 0.5$). Характер этих связей при внесении минеральных удобрений (NPK) оставался без изменений и имел высокую тесноту по ранее выявленным декадам июля и августа. Аналогичные тесные парные связи установлены с осадками по величине и характеру.

На мерзлотной аллювиальной дерновой почве корреляционные связи (r) урожая с температурами воздуха имели высокую тесноту связей во второй декаде июня и в первой декаде августа, достигая соответственно $r = 0.86 \pm 0.3$ и $r = 0.85 \pm 0.3$. По осадкам эти связи оказались также высокими во второй декаде июля $r = -0.91 \pm 0.5$ и во второй декаде августа $r = -0.95 \pm 0.5$. При посеве просо в третьей декаде июня высокая теснота с температурами воздуха отсутствовала, а по осадкам имели аналогично высокие зависимости.

Отсюда, высокий урожай просо на мерзлотной лугово-черноземной почве при внесении минеральных удобрений находился в высокой тесноте связей (r) с температурами воздуха и осадками во второй декаде июля, а на мерзлотной аллювиальной дерновой почве в случае посева в первой декаде июня - с температурами воздуха и осадками во второй декаде июня.

Фенологические фазы и кинетика роста растений. Фенологические и фитометрические показатели просо отражали специфику наступления фенофаз, роста и высоты растений. В условиях дефицита тепла высота растений к моменту уборки (цветение) на варианте контроль не превышала 122 см и возрастала под влиянием минеральных удобрений, достигая 160 см. Причем, орошение как агротехнологический прием оказался эффективным при раннем посеве в первой декаде июня - высота растений в среднем достигала 150 см, а при позднем сроке - не выше 130 см. По всем вариантам характерно отсутствие различий по высоте растений в фазе всходов с различиями в фазе кущения и особенно - в фазе выметывания метелки. Как следствие, кинетика роста в этих мерзлотных режимах по вариантам оценки складывалась различно и оказалась наименьшей на контрольном варианте с константой (k) скорости нарастания зеленой массы $k = 0.886$ в сутки. Наиболее высокая кинетика этого процесса оказалась в условиях орошения при раннем посеве (первая декаде июня), константа (k) которой в этом случае составила $k = 0.984$ в сутки. Аналогично высокая кинетика выявлена при внесении минеральных удобрений, которая достигла величины $k = 0.962 - 0.978$ в сутки. Скоростные показатели роста растений просо на мерзлотных почвах представлены впервые, которые отражали специфику их развития в мерзлотных режимах, позволяя выстроить прогнозные сценарии нарастания надземной массы просо.

Энергетические и кормовые достоинства. Существенный рост урожая просо на мерзлотной лугово-черноземной почве при внесении минеральных удобрений обеспечивался изменением энергетического состояния посевов. При сопоставимых затратах с контролем (без удобрений) совокупной энергии на производство продукции, поступление минеральных удобрений обеспечивало повышение энергетического состояния посевов: доказано возрастание обменной энергии до 52.1 ГДж против 32.2 ГДж/га на варианте контроль и валовой энергии до 108.9 ГДж против 69.8 ГДж/га (табл.23).

Таблица 23. Энергетическая оценка посевов просо при внесении минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве

Параметры оценки (при орошении)	Ед. изм.	Контроль		NPK ₉₀		NPK ₁₂₀	
		схема междурядий в посевах, см					
		15	30	15	30	15	30
Затраты совокупной энергии	ГДж га	22.0	21.9	27.9	27.8	29.9	29.7
Валовая энергия		73.5	69.8	100.2	95.0	108.9	103.6
Обменная энергия		34.4	32.2	47.7	45.2	52.1	49.8
Приращение валовой энергии		51.5	47.9	72.3	67.2	79.0	73.9
Энергетический коэффициент		3.34	3.19	3.59	3.42	3.64	3.49
Энергоемкость кормов, ц	ГДж	1.41	1.48	1.32	1.38	1.30	1.35
Энергет. коэффиц. производства кормов		1.56	1.47	1.71	1.63	1.74	1.68

Значительный рост приращения валовой энергии (до 79.0 ГДж) сопровождался возрастанием и энергетического коэффициента (до 3.64) и коэффициента производства кормов до 1.74 (табл.23). Подобный отклик энергетического статуса посевов просо на мерзлотной лугово-черноземной почве обусловлен, главным образом, поступлением извне дополнительных энергетических источников в виде минеральных удобрений - NPK. Значимость влияния минеральных удобрений на изменение энергетического состояния системы почва-растение доказана в серии фундаментальных работ (Шатилов и др., 2004; Духанин и др., 2007; Савич и др., 2007, 2010; Будажапов, 2019, 2024). Схожие изменения энергетического состояния посевов просо подтвердились и на мерзлотной аллювиальной дерновой почве с различиями в показателях, которые оказались значительно выше при проведении посева в первой декаде июня. В этой оценке на мерзлотной лугово-черноземной почве показатели приращения валовой энергии и энергетического коэффициента производства кормов значительно превышали вариант с внесением минеральных удобрений.

Достоверное увеличение урожая просо (табл.22) и повышение энергетического состояния посевов (табл.23) под влиянием минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве приводило к изменению кормовых достоинств зеленой массы (табл.24).

При внесении минеральных удобрений выявлено достоверное увеличение содержания сырого протеина, зольных веществ и жира (табл.24).

Таблица 24. Кормовые достоинства зеленой массы просо при внесении минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве

Параметры оценки при орошении (по сырому веществу)		Контроль		NPK ₉₀		NPK ₁₂₀	
		схема междурядий в посевах, см					
		15	30	15	30	15	30
протеин	% на абс. сух. в-во	16.3	16.0	18.1	18.0	18.9	18.6
клетчатка		32.6	32.5	31.3	31.4	31.0	31.1
жир		2.3	2.4	2.7	2.6	2.8	2.8
зола		6.8	6.7	7.3	7.1	7.2	7.2
БЭВ		38.97	38.56	36.83	37.80	36.99	37.18
кормовая единица	кг/сух	0.61	0.60	0.64	0.65	0.66	0.66
переваримый протеин, г	в-во	121.8	118.5	140.4	137.7	146.0	143.2

НСР₀₅ протеин 1.6; клетчатка 2.6; жир 0.03; зола 0.05; БЭВ 3.6; корм. ед.0.01; переваримый протеин 3.1

По сути, комбинация этих изменений и обеспечивало повышение энергетического состояния посевов просо в мерзлотном земледелии. На фоне этих изменений наблюдалось возрастание кормовых единиц и содержание переваримого протеина в сравнении с контролем, которое возрастало соответственно до 0.66 и 146.0 г (табл.24).

На мерзлотной аллювиальной дерновой почве содержание переваримого протеина в этой оценке достигало 148.2 г. Отсюда, значимо меньшие урожаи просо на вариантах с разными сроками посева при орошении (табл.22) обеспечивались высоким энерго-протеиновым состоянием посевов.

Экономический эффект возделывания. Возделывание культуры просо в мерзлотном земледелии с получением достоверно высокого урожая при высоких кормовых достоинствах подтвердилась пакетом оценки экономической эффективности.

На контрольном варианте (без удобрений) при низкой продуктивности 1 га (кормовых единиц) и невысоком условно чистом доходе, вплоть до отсутствия, уровень рентабельности возделывания просо на мерзлотной лугово-черноземной почве был крайне низким - не более 5% (табл.25).

Таблица 25. Экономическая оценка возделывания просо на мерзлотных почвах по вариантам опытов при орошении (зеленая масса)

Код опытов и варианты оценки				Продуктивность	Стоимость продукции	Прямые затраты	Условно чистый доход	Рентабельность	
				к.ед. с 1 га	руб / га			%	
мерзлотная лугово-черноземная почва (минеральные удобрения)									
ПС-1. У/О	контроль, без удобрений	схема посева между-рядий, см	15	2371	39100	37284	1816	5	
			30	2219	37050	37150	-100	0	
	NPK ₉₀		15	3392	53000	44688	8312	19	
			30	3272	50275	44509	5766	13	
	NPK ₁₂₀		15	3795	57500	47140	10360	22	
			30	3624	54900	46967	7933	17	
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (сроки посева)									
ПС-2. С/О	июнь	I декада	4752	54300	44774	9526	21		
		II декада	4154	46625	44514	2111	5		
		III декада	2340	26750	43453	-16703	-38		

В жестких мерзлотных режимах подобный характер экономического эффекта вполне адекватный. При внесении минеральных удобрений экономический эффект возделывания просо на типичных мерзлотных почвах существенно возрос. Показатели продуктивности и условно чистый доход значительно возросли, обеспечивая в этом значительное снижение экономических рисков возделывания. Как следствие, уровень рентабельности достигал 22 % с колебаниями 13-19 % (табл.25).

На мерзлотной аллювиальной дерновой почве лучший экономический эффект достигнут при раннем посеве в первой декаде июня - уровень рентабельности составил 21 %. Причем, в случае позднего посева (третья декада июня) возделывание просо сопровождалось экономическими рисками в полном проявлении - рентабельность возделывания отсутствовала.

Оценка конкурентности возделывания и урожая просо в мерзлотном земледелии по величине равновесной урожайности (РУ) и показателю вклада в покрытие постоянных издержек (ВППИ) при лучших агротехнологических приемах оказалась также высокой.

Совокупность результатов статистических, энергетических и кормовых характеристик возделывания просо впервые подтвердила обоснованность получения урожаев в мерзлотном земледелии без существенных экономических издержек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результативность многолетних исследований по обоснованию урожаев однолетних кормовых культур с разработкой агротехнологических приемов их возделывания для получения кормовой базы энергонасыщенными и высокопротеиновыми кормами на мерзлотных почвах позволила впервые для ярко выраженных мерзлотных режимов реализовать высокомотивированную систему теоретических подходов и агротехнологических приемов, которые обеспечивали устойчивый выход сочных кормов и позволили выстроить новую парадигму создания высокопродуктивных кормовых агроценозов в этом регионе.

Впервые в реестре однолетних кормовых культур рассмотрен перспективный перечень в виде подсолнечника, суданской травы, кукурузы, редьки масличной и просо, которые выступали в качестве пионерских тест - культур мерзлотного земледелия. Подобная научно-технологическая практика обоснования урожаев и возделывания этих кормовых культур ранее никогда не предпринималась. По результатам предложены и верифицированы новые критерии оценки урожаев по энергетическим, кинетическим, кормовым и экономическим параметрам для каждой культуры, совокупность которых, позволила выделить ряд общих закономерностей и частные специфические особенности их отклика на агротехнологические приемы возделывания в мерзлотных условиях. В этом понимании, высокая результативность исследований представлена впервые.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. Выстроенная концепция агротехнологических решений получения урожаев однолетних кормовых культур в земледелии ярко выраженных мерзлотных режимов представляет систему научно-технологических мероприятий, которые включают серию теоретических обоснований с разработкой технологических приемов по снижению влияния абиотических стресс - факторов на рост растений и риски их возделывания с построением критериев оценки урожая по кинетическим, энергетическим и кормовым характеристикам в качестве интегрального алгоритма гарантированного получения энергонасыщенных и высокопротеиновых сочных кормов с высоким экономическим эффектом. Совокупность теоретических и технологических решений с развернутой оценкой урожая формирует новый подход к совершенствованию системы земледелия в мерзлотных режимах Республики Саха (Якутия).

2. Теоретические предпосылки нивелирования агротехнологических рисков в получении урожаев однолетних кормовых культур в мерзлотном земледелии реализованы путем построения системы научно - обоснованных индикаторов по обоснованию и получению урожаев с учетом выраженных неблагоприятных абиотических факторов с верификацией агротехнологических приемов по снижению негативного их воздействия. На этом основании сформированы специфические общие и частные закономерности получения урожая и отклика кормовых культур на систему агротехнологических мероприятий, в ряду которых возрастание энергетического состояния посевов и снижение экономических издержек являются ключевыми.

3. Реализация высокого потенциала однолетних кормовых культур с достоверно высоким урожаем при снижении рисков их возделывания в мерзлотном земледелии обеспечивалась триадой важнейших агротехнологических приемов, в ряду которых внесение полного минерального удобрения в качестве основного весной, проведение вегетационного полива и соблюдение посева в первой декаде июня, независимо от различий плодородия мерзлотных почв и морфо-биологических особенностей культур, выступали определяющими. В результате этих агротехнологических приемов ранжирование урожая кормовых культур на мерзлотных почвах снижалось в ряду (ц/га): подсолнечник (422.7 ± 26.0) → кукуруза (365.1 ± 16.6) → суданская трава (248.2 ± 11.1) → просо (230.0 ± 18.5) → редька масличная (218.8 ± 18.5). Под воздействием агротехнологических приемов доказана высокая ($r > 0.78$) и статистически значимая ($t_{\phi} > t_{st}$) теснота связей (r) урожая с температурами воздуха и осадками, которая в ряде случаев приближалась к функциональной ($r \rightarrow 1$) при слабой их сопряженности на контроле.

4. Типичная специфика функционирования мерзлотных агроценозов во времени и пространстве (дефицит солнечной инсоляции и тепловых ресурсов, доминирование холодных воздушных масс в годовом обороте, ограниченный период активного роста растений и экстремальность режимных процессов) и постоянное присутствие в почвах мощной толщи вечной мерзлоты обуславливают низкий исходный энергетический статус посевов. Под воздействием вносимых минеральных удобрений, которые выступали в качестве дополнительного источника энергии, доказано изменение энергетического состояния посевов. По всем культурам значительно возрастали энергетические показатели валовой ($96.7 \rightarrow 160.9$ ГДж) и обменной энергии ($45.2 \rightarrow 76.3$ ГДж) на создание урожая, в т.ч. индекс энергетического коэффициента производства кормов. Возрастание энергетического статуса посевов и обеспечивало повышение криорезистентности растений, способствовало снижению рисков возделывания и получению устойчивых урожаев. В противном случае последнее невозможно. Подобный эффект является важнейшей специфической закономерностью оценки получения урожая в мерзлотных режимах.

5. Специфические закономерности позитивного отклика растений однолетних кормовых культур на внесение минеральных удобрений, несмотря на выраженные мерзлотные режимы, проявились в кинетических характеристиках их роста и нарастания зеленой массы, характер которых, независимо от морфологических и биологических различий, а равно плодородия мерзлотных почв, подчинялся функции экспоненты. На этом основании удалось выстроить ранжирование констант (k , в сутки) суточного прироста зеленой массы, величина которых в порядке возрастания располагалась в ряду: суданская трава ($k = 0.693$) → редька масличная ($k = 0.918$) → подсолнечник ($k = 0.933$) → просо ($k = 0.978$) → кукуруза ($k = 0.990$). Именно эти скоростные индикаторы отражали общую специфическую их характеристику и служили основой построения прогнозных сценариев получения урожая.

6. В ряду частных специфических характеристик урожаев однолетних кормовых культур на мерзлотных почвах выявлен ряд индикаторов, которые отражали специфику их отклика на снижение агротехнологических рисков возделывания как локальные критерии частных закономерностей. В этом позиционировании раскрыты статистики средних величин урожая каждой кормовой культуры с доверительным интервалом и диапазоном предельных величин, которые различались по вариантам опытов, культурам и мерзлотным почвам при статистически доказанной ($t_{\phi} > t_{st}$) высокой тесноте связей ($r \geq 0.78$) с температурами воздуха и атмосферными осадками, а в ряде случаев - близкой к

функциональной зависимости ($r \rightarrow 1$). Эти частные критерии в оценках урожая кормовых культур дополняли выявленные общие их закономерности.

7. В многолетнем ряду получение достоверно высокого урожая однолетних кормовых культур на мерзлотных почвах под воздействием триады изучаемых признаков сопровождалось возрастанием кормовой ценности зеленой массы, главным образом, ценных белковых составляющих. Ранжирование однолетних кормовых культур по содержанию сырого протеина, независимо от плодородия мерзлотных почв и гидротермических режимов, возрастало в ряду (%): подсолнечник (16.3) \rightarrow суданская трава (18.7) и просо (18.9) \rightarrow кукуруза (20.3) \rightarrow редька масличная (21.3%). Адекватное и достоверное ранжирование выявлено и по содержанию переваримого протеина (г): подсолнечник (115) \rightarrow суданская трава (142.2) \rightarrow просо (146.0) \rightarrow кукуруза (158.1) \rightarrow редька масличная (166.5). Во всех случаях редька масличная имела преимущества в сравнении с другими культурами. Совокупность изменения энергетических, кинетических и кормовых характеристик отражали специфические закономерности отклика растений на воздействие агротехнологических приемов по снижению рисков возделывания и получения урожаев в мерзлотных режимах.

8. Для типичного распространения массива мерзлотных почв оценка экономических рисков возделывания однолетних кормовых культур с получением высококачественных и энергонасыщенных сочных кормов в жестких гидротермических режимах функционирования системы почва-растение выступает основным критерием обоснованности агротехнологических решений. При наличии лимитирующих урожай абиотических стресс-факторов, разработка эффективных адресных мероприятий позволило нивелировать экономические издержки их возделывания в мерзлотном земледелии. Последние доказаны повсеместным позитивным экономическим эффектом в формате высокой рентабельности получения сочных кормов в общепризнанной классической оценке и в современной интерпретации позитивного экономического эффекта по показателю компенсации затрат на производство продукции по вкладу в покрытие постоянных издержек (ВППИ) и равновесной урожайности (РУ).

9. Высокая результативность снижения рисков возделывания и получение высокого урожая кукурузы на зеленую массу в типичных условиях мерзлотного земледелия обеспечивалась ежегодным внесением полного минерального удобрения под весеннюю обработку мерзлотных почв с проведением трехкратного вегетационного полива и посевом в первой декаде июня. В этой оценке позитивный эффект обеспечивался увеличением энергетического статуса посевов, особенно в части валовой энергии (160.9 ГДж/га против 101.0 на контроле), и поддерживался высокой кинетикой роста растений ($k = 0.951 - 0.990$ в сутки). Одновременно возрастало содержание ценного переваримого протеина до 158.1 г при очень высокой ($r \geq 0.97$) и значимой ($t_{\phi} > t_{st}$) тесноте связей урожая с температурами воздуха и осадков. Причем, возможные риски негативных экономических издержек при возделывании кукурузы на мерзлотных почвах отсутствовали при высоком экономическом эффекте возмещения затрат на получение продукции.

10. Возделывание редьки масличной и значимо высокий урожай зеленой массы на мерзлотных почвах позволило раскрыть достоинства этой культуры и в мерзлотных режимах. Доказательность этого обеспечивалась позитивной отзывчивостью редьки масличной на поступление минеральных удобрений. Установлено устойчивое повышение энергетического статуса посевов, особенно валовой энергии (101.6 ГДж против 74.8 ГДж/га на контроле) с адекватным ростом обменной энергии (51.1 \rightarrow 36.8 ГДж/га), энергетического коэффициента (3.42 \rightarrow 3.38) и коэффициента производства кормов (1.73 \rightarrow 1.66). По всем вариантам оценки доказана высокая кинетика роста растений ($k = 0.918 -$

0.970 в сутки) и сопряженность урожая с показателями температур и осадков ($r = 0.76...0.98$) с устойчивым насыщением белковых компонентов переваримым протеином. Совокупность этих характеристик позволяет включить редьку масличную в реестр значимых кормовых культур мерзлотного земледелия.

11. Специфика возделывания суданской травы с получением достоверно высокого и устойчивого урожая при внесении минеральных удобрений на мерзлотных почвах в сочетании с вегетационным поливом подтверждает высокую мотивированность включения этой ценной кормовой культуры в земледелие мерзлотных режимов. Достоверно высокий урожай при высокой тесноте ($r \geq 0.78$) с температурами воздуха и осадками, высокой кинетике роста растений ($k = 0.900 - 0.966$ в сутки) и возрастании энергетического статуса по валовой и обменной энергии (104.4 и 49.1 ГДж против 75.4 и 34.7 ГДж на контроле), повышении кормовой ценности и обоснованности экономических рисков (рентабельность 31% с высоким возмещением затрат по ВППИ) - перечень достойных характеристик для мотивированного и обоснованного пополнения кормовой базы мерзлотного региона этой важнейшей однолетней кормовой культурой.

12. Статистические показатели урожая просо при возделывании на мерзлотных почвах и внесении полного минерального удобрения на фоне орошения, по выборочной средней, оказались высокими и составили 230.0 ± 18.5 ц /га с высокими значениями лимитов (209.3 - 254.6 ц) при высокой тесноте связей ($r = 0.85 - 0.91$) с показателями температур воздуха и атмосферных осадков. По всем вариантам опытов доказано увеличение энергетического состояния посевов, особенно в части возрастания валовой энергии (108.9 ГДж против 69.8 ГДж/га на контроле), которое обеспечивало высокую кинетику (k) роста растений ($k = 0.962 - 0.978$ в сутки) с повышением кормовых достоинств продукции, особенно переваримого протеина, в отсутствии экономических рисков возделывания. Совокупность этих критериев подтверждает мотивированность и обоснованность возделывания просо в мерзлотном земледелии, в т.ч. по энергетическим и кормовым достоинствам.

13. Высокая мотивация возделывания подсолнечника подтвердилась и для крайне жестких условий мерзлотного земледелия. Статистики урожая при внесении минеральных удобрений и периодическом вегетационном поливе оказались высокими и в среднем составили 422.7 ± 26.0 ц/га с высокими лимитами. Доказана высокая теснота связей (r) урожая с абиотическими факторами мерзлотных режимов ($r = 0.83 - 0.95$) на фоне высокой кинетики роста растений и нарастания зеленой массы в суточном приросте ($k = 0.929 - 0.953$ в сутки). Панорама высоких урожаев и высокой сопряженности признаков в мерзлотных режимах обеспечивалась возрастанием энергетического статуса посевов подсолнечника под влиянием вносимых минеральных удобрений, показатели которого по валовой энергии и энергетическому коэффициенту возрастали значительно с адекватным повышением кормовой ценности, особенно по содержанию переваримого протеина до 115 г. В результирующем восприятии, экономические риски возделывания подсолнечника на мерзлотных почвах с выходом энергонасыщенного урожая с удовлетворительными кормовыми достоинствами в крайне жестких условиях мерзлотного земледелия отсутствовали.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Для получения устойчивых урожаев однолетних кормовых культур в мерзлотном земледелии с получением энергонасыщенных и высокопротеиновых сочных кормов рекомендовать внедрение экономически обоснованной системы мероприятий, которая включает обязательное внесение полного минерального удобрения (NPK_{120}) в качестве

основного под культивацию весной, проведение вегетационного полива и посевных работ в первой декаде июня.

2. Для значительного пополнения кормовой базы высококачественными сочными кормами рекомендовать включение однолетней кормовой культуры подсолнечника и суданской травы в мерзлотном земледелии с внесением полного минерального удобрения (NPK_{120}), проведением трехкратного вегетационного полива и посева культур в период первая - вторая декада июня в качестве наиболее эффективного сочетания агротехнологических и экономических мероприятий, обеспечивающих минимальные риски возделывания.

3. В перспективном насыщении кормовой базы рекомендовать включение кукурузы в посевах кормовых культур, агротехнологические мероприятия по возделыванию которой на мерзлотных почвах необходимо проводить с обязательным включением минеральных удобрений и орошения, обеспечивая достоверно высокий и устойчивый выход зеленой массы с повышенным содержанием белковых компонентов и в первую очередь - переваримого протеина.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК

1. **Пестерева, Е.С.** Смешанные посевы овса с бобовыми для производства сенажа в условиях Якутии / Е.С. Федорова (Пестерева) // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. - 2007. - № 11. - С. 41- 45.
2. **Пестерева, Е.С.** Подбор кормовых культур и их сроков посева для получения сенажа/ Е.С. Федорова (Пестерева) // Комбикорма. - 2008. - № 1. - С. 66.
3. **Пестерева, Е.С.** Научные основы северного кормопроизводства в Республике Саха (Якутия) / С. А. Павлова, Н. Т. Попов, Е.С. Пестерева [и др.] // Достижения науки и техники АПК. - 2013. - № 7. - С. 74-76.
4. **Пестерева, Е.С.** Возделывание однолетних смешанных посевов для сенажа и зеленого конвейера в условиях Якутии / Е.С. Пестерева // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. - Улан-Удэ, 2015. - №4 (41). - С.31-37.
5. **Пестерева, Е.С.** Влияние сроков посева на урожайность перспективных однолетних кормовых культур в условиях Центральной Якутии / Е.С. Пестерева, С.А. Павлова, Г.Е. Захарова [и др.] // Аграрная наука. - Москва, 2017.- № 7.- С.2-3.
6. **Пестерева, Е.С.** Адаптация технологии возделывания перспективных однолетних культур по срокам посева в условиях Центральной Якутии / Е.С. Пестерева, С.А. Павлова, Г.Е. Захарова // Аграрная наука. - Москва, 2018.- № 4. - С. 47- 48.
7. **Пестерева, Е.С.** Кормопроизводство в Республике Саха (Якутия) : состояние и перспективы / С. А. Павлова, Е. С. Пестерева, Г. Е. Захарова // Кормопроизводство. - 2018. - № 5. - С. 5-9.
8. **Пестерева, Е.С.** Урожайность и питательная ценность кукурузы и их смесей для заготовки сочных кормов в условиях Центральной Якутии / Е.С. Пестерева, С.А. Павлова, Г.Е. Захарова [и др.] // Аграрная наука.- Москва, 2018.- № 9.- С. 54 -56.
9. **Пестерева, Е.С.** Влияние сроков посева на урожайность и питательную ценность суданской травы в условиях Центральной Якутии / Е.С. Пестерева, С.А. Павлова, Н.Н. Жиркова // Аграрная наука. - Москва, 2019.- № 2.- С. 67- 68.
10. **Пестерева, Е.С.** Эффективность применения разных доз минеральных удобрений на формирование урожайности однолетних культур в условиях Якутии / Е.С. Пестерева,

- С.А. Павлова, Г.Е. Захарова, Н.Н. Жиркова // Международный сельскохозяйственный Журнал. -2020. - №3. - С. 26-28. -DOI: 10.24411/2587- 6740-2020-13044. -URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43169743>
11. **Пестерева, Е.С.** Продуктивность и качество однолетних культур для заготовки сенажа в условиях Якутии / Е.С. Пестерева, С.А. Павлова, Г.Е. Захарова // Аграрная наука. – 2020. -№ 5. - С. 69-71. -DOI: 10.32634/0869-8155-2020-338-5-69-71. -ISSN: 0869-8155eISSN: 2686-701X -URL:<https://elibrary.ru/item.asp?id=43123442>
 12. **Пестерева, Е.С.** Новые перспективные однолетние культуры на зеленую массу в условиях Крайнего Севера / Е.С. Пестерева, С.А. Павлова, Н.Н. Жиркова // Аграрная наука. – 2020.- №6 - С.66-69. - DOI: 10.32634/0869-8155-2020-339-6-66-69.-URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43123484>
 13. **Пестерева, Е.С.** Агроэнергетическая оценка эффективности возделывания однолетних кормовых культур на сенаж в условиях Севера / Е.С. Пестерева, С.А. Павлова, Г.Е. Захарова // АПК: Экономика, управление. -2020. -№ 5. С. 63-68. DOI: 10.33305/205-63-URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42913084>
 14. **Пестерева, Е.С.** Урожайность и питательная ценность подсолнечника и его смесей в условиях Центральной Якутии / Е.С. Пестерева, С.А. Павлова, Г.Е. Захарова, М.М. Свинобоев // Международный сельскохозяйственный журнал. - № 5 (377) vol. 63. - 2020 г. - С. 28-30. -DOI: 10.24411/2587-6740-2020-15086
 15. **Пестерева, Е.С.** Подбор перспективных кормовых культур по срокам посева и питательную ценность в условиях криолитозоны / Е.С. Пестерева, С.А. Павлова, Н.Н. Жиркова, Г.Е. Захарова // Международный сельскохозяйственный журнал.- № 2 (380) – 2021. - С. 69-72.
 16. **Пестерева, Е.С.** Подбор подсолнечника и его смесей на мерзлотной почве Центральной Якутии / Е.С. Пестерева, С.А. Павлова // Аграрная наука. - Москва, 2021.- № 6.- С. 50-54.
 17. **Пестерева, Е.С.** Сроки посева кормовых культур для производства сенажа в условиях Центральной Якутии / Е. С. Пестерева, С. А. Павлова, Г. Е. Захарова [и др.] // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. - 2022. - № 1(198). - С. 3-9. – DOI:10.33920/sel-05-2201-01.
 18. **Пестерева, Е.С.** Сроки посева, урожайность и качество зеленой массы новых кормовых культур в условиях Якутии / Е. С. Пестерева, Н. Н. Жиркова, С. А. Павлова // International Agricultural Journal. - 2022. - Т. 65. -№ 5. – DOI: 10.55186/ 25876740 2022_6_5_15.
 19. **Пестерева, Е. С.** Результаты изучения подсолнечника и его смесей в условиях Якутии / Е. С. Пестерева, С. А. Павлова, Н. Н. Жиркова // International Agricultural Journal. -2022. - Т. 65. -№ 5. -DOI: 10.55186/25876740_2022_6_5_16.
 20. **Пестерева, Е. С.** Формирование урожайности однолетних кормовых культур в зависимости от сроков посева / Е. С. Пестерева, С. А. Павлова // International Agricultural Journal. - 2022. - Т. 65. -№ 5. – DOI: 10.55186/25876740-2022-6517.
 21. **Пестерева, Е.С.** Технология возделывания подсолнечника в смеси кормовыми культурами / Е.С. Пестерева, С.А. Павлова, А.С. Филатов // International Agricultural Journal – №3/2023. - URL: <https://iacj.eu/index.php/iacj/article/view/851>
 22. **Пестерева, Е.С.** Повышение устойчивости и урожайности однолетних культур под воздействием разных доз минеральных удобрений в условиях Якутии / Е.С. Пестерева, С.А. Павлова, Н.Н. Жиркова // International Agricultural Journal - №3.-2023.
 23. **Пестерева, Е.С.** Агротехнологическая практика ускоренного залужения и урожай травостоев пастбищ, расположенных на мерзлотных почвах Республики Саха (Якутия)

- / Л. В. Будажапов, С. А. Павлова, Е. С. Пестерева, А. К. Уланов // Земледелие. -2023. - № 7. - С. 32-35. – DOI: 10.24412/0044-3913-2023-7-32-35.
24. **Пестерева, Е.С.** Энергетическая и экономическая эффективность создания и использования однолетних кормовых трав на зеленую массу в зависимости от сроков посева и видов трав / Н. Н. Жиркова, С. А. Павлова, Е. С. Пестерева // Международный сельскохозяйственный журнал. - 2023. -№ 6(396). - С. 612 - 615.-DOI: 10.55186/25876740_2023_66_6_612.
25. **Пестерева, Е.С.** Создание сырья из однолетних кормовых культур для производства сенажа и зеленого конвейера в условиях Якутии / Е.С. Пестерева, С.А. Павлова // International Agricultural Journal. - № 3. - 2023. – URL: <https://iacj.eu/index.php /iacj/article /view/835>
26. **Пестерева, Е.С.** Особенности агротехнологических приемов возделывания кормовых культур на мерзлотной почве Республики Саха (Якутия) / Е.С. Пестерева, Л.В. Будажапов, С.А. Павлова, Г.Е. Захарова, Н.Н. Жиркова // International Agricultural Journal. - № 5. -2024.- 1600 - 1608.
27. **Пестерева, Е.С.** Влияние срока посева на продуктивность однолетних кормовых культур в производственных посевах при заготовке различных кормов / Н.Н. Жиркова, С.А. Павлова, Е.С. Пестерева, Г.Е. Захарова З.М. Филиппова // International Agricultural Journal. - № 5.- 2024. -1579-1599.

Патенты на изобретение и базы данных Российской Федерации

1. **Пестерева, Е.С.** Способ заготовки сенажа в упаковке из смешанных злаково-бобовых культур в условиях криолитозоны / Е.С. Пестерева, Н.Т. Попов // Патент РФ на изобретение № 2376867 от 27.12.2009 г.
2. **Пестерева, Е.С.** Способ продления срока действия зеленого конвейера в условиях криолитозоны / С. А. Павлова, Е.С. Пестерева // Патент РФ на изобретение № 2652164 от 25.04.2018 г.
3. **Пестерева, Е.С.** Свидетельство о государственной регистрации базы данных РФ № 2018620625. Система ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия): № 2018620242 : опубл. 24.04.2018 / А. И. Степанов, Г. И. Даянова, П. П. Охлопкова [и др.].
4. **Пестерева, Е.С.** Свидетельство о государственной регистрации базы данных РФ № 2020620409. Оценка современного состояния ресурсов отраслей агропромышленного комплекса Республики Саха (Якутия) : № 2020620153 : опубл. 03.03.2020 / А. И. Степанов, Г. И. Даянова, П. П. Охлопкова [и др.].
5. **Пестерева, Е.С.** Способ продления срока действия сеяных пастбищ в условиях криолитозоны / С.А. Павлова, А.В. Кузьмина, Е.С. Пестерева // Патент РФ на изобретение № 2745122 от 22.03.2021 г.
6. **Пестерева, Е.С.** Способ возделывания злаковых и злаково-бобовых травосмесей на аласных лугах в условиях криолитозоны / С.А. Павлова, Е.С. Пестерева, Н.Н. Жиркова // Патент РФ на изобретение № 2744080 от 02.03.2021 г.
7. **Пестерева, Е.С.** Способ возделывания подсолнечника и его смесей по срокам посева на силос в условиях криолитозоны / Е.С. Пестерева, С.А. Павлова, А.В. Кузьмина, Н.Н. Жиркова, М.М. Свинобоев // Патент РФ на изобретение № 2745121 от 22.03.2021 г.
8. **Пестерева, Е.С.** Свидетельство о государственной регистрации базы данных РФ № 2022621709. Создание зеленого конвейера в условиях Центральной Якутии : № 2022621453 : опубл. 13.07.2022 / С. А. Павлова, Е. С. Пестерева, Н. Н. Жиркова.
9. **Пестерева, Е.С.** Свидетельство о государственной регистрации базы данных РФ №

2022621808. Виды технологий производства сенажа в упаковке в условиях криолитозоны : № 2022621454 : опубл. 21.07.2022 / Е. С. Пестерева, С. А. Павлова, Н. Н. Жиркова.
10. **Пестерева, Е.С.** Способ возделывания амаранта по срокам посева на зеленый корм в условиях криолитозоны / Е. С. Пестерева, С. А. Павлова, Н. Н. Жиркова // Патент РФ на изобретение № 2803341 от 12.09.2023г.

Публикации в изданиях, входящих в перечень РИНЦ

1. **Пестерева, Е.С.** Особенности возделывания кормовых культур по способам посева в условиях Центральной Якутии / Е.С. Пестерева, С.А. Павлова, Н.Н. Жиркова // Актуальные вопросы и перспективы развития сельскохозяйственных наук: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции. - Омск: 2017.- 37 с.
2. **Пестерева, Е.С.** Перспективы возделывания однолетних кормовых культур по способам посева в условиях Центральной Якутии / Е.С. Пестерева, С.А. Павлова, Г.Е. Захарова // МНПК «Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии : Сборник научных докладов XXII международной научно-практической конференции. – Якутск: СФНЦА РАН, 2019. – С. 32-34.
3. **Пестерева, Е.С.** Состояние и перспективы кормопроизводства в Республике Саха (Якутия) / Е.С. Пестерева, С.А. Павлова, Г.Е. Захарова, //Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, Казахстана, Беларуси и Болгарии : Сборник научных докладов XXII международной научно-практической конференции. – Якутск: СФНЦА РАН, 2019. – С. 46 - 47.
4. **Пестерева, Е.С.** Возделывание подсолнечника в смеси с перспективными кормовыми культурами в условиях Якутии / Е.С. Пестерева, С.А. Павлова, Н.И. Алексеева // Сборник научных статей МНПК, посвященной 100-летию образования Якутской АССР и 85-летию Первого президента РС(Я) М. Е. Николаева – Якутск: Издательство «Знание-М». -2022. – С. 927-933. – EDN KVFJBY.
5. **Pestereva, E.S.** Improving Yield of Non-Perennial Crops in the Conditions of Yakutia Using Different Doses of Mineral Fertilizers / E. S. Pestereva, S. A. Pavlova, N. P. Aleksandrov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Virtual, Online, 10–12 января 2022 года. – Virtual, Online, 2022. – P. 042047. – DOI 10.1088/1755-1315/988/4/042047. – EDN ZHYVXW.
6. **Пестерева, Е.С.** Урожай зеленой массы посевов подсолнечника и природный механизм высокой их адаптации в мерзлотных режимах Республики Саха (Якутия) / Л.З.В. Будажапов, Е.С. Пестерева, С.А. Павлова // В сборнике: Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, Стран СНГ и BRICS. Сборник научных докладов XXV юбилейного международного научно-практического форума. - Краснообск. - 2023. С. 21-22.
7. **Пестерева, Е.С.** Урожай однолетних кормовых культур в моно- и двухвидовых комбинациях на мерзлотной пойме Центральной зоны Республики Саха (Якутия)/Е.С. Пестерева, Л.В. Будажапов, Л.Н. Владимиров // Современные проблемы и перспективы развития агрохимии, земледелия и смежных наук о плодородии почв и продуктивности полевых культур в Сибири : - Красноярск: ФГБУН ФИЦ КНЦ СО РАН, 2023. – С. 293-296. – DOI: 10.52686/9785604525050_459. – EDN TBNULH.
8. **Пестерева, Е.С.** Суданская трава в мерзлотных режимах Центральной Якутии: специфика развития, урожай и перспективы возделывания / Е.С. Пестерева, Л.В. Будажапов, С.А. Павлова // Растительность Байкальского региона и сопредельных территорий: материалы всероссийской конференции с международным участием (Улан-

Удэ, 26–27 октября 2023 г.). — Улан-Удэ: Издательство Бурятского госуниверситета. - 2023. - С. 156 -159. ISBN 978-5-9793-1877-6.- DOI: 10.18101/978-5-9793-1877-6-1-176

9. **Пестерева, Е.С.** Мерзлотные почвы и агротехнологические риски возделывания суданской травы в Республике Саха: статистики урожая, отклик энергетического статуса и кормовой ценности / Е.С. Пестерева, Л.В. Будажапов, С.А. Павлова // Почвы – опора России: тезисы докладов IX съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Казань, 12-16 августа 2024 г.). – Москва - Казань: МАКС - Пресс. - 2024. - 800 с.

Методические пособия и рекомендации

1. **Пестерева, Е.С.** Производство сенажа в Центральной Якутии: методические рекомендации / Н.Т. Попов, Е.С. Пестерева [и др.]. СО РАСХН; Якутский НИИСХ. – Якутск, 2007. – 36 с.
2. **Пестерева, Е.С.** Создание зеленого конвейера для молочного скотоводства из однолетних кормовых культур в условиях Центральной Якутии (методические рекомендации) / С.А. Павлова, Н.Т. Попов, Е.С. Пестерева, Х.И. Максимова // Якутск: Изд. ЯНИИСХ, 2007. 20 с.
3. **Пестерева, Е.С.** Система ведения сельскохозяйственного производства в Республике Саха (Якутия), на период до 2015 г / В. И. Винокуров, Г. И. Даянова, Е. И. Колосова [и др.] ; Российская академия сельскохозяйственных наук, Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства; ответственный редактор Е. А. Борисов. – Якутск : ИП Иванов С.Д. «СМИК – МАСТЕР», 2009. – 316 с.
4. **Пестерева, Е.С.** Рекомендации по весенне-полевым мероприятиям, уходу за посевами на 2013 год по Республике Саха (Якутия). – Якутск : Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, 2013. – 40 с.
5. **Пестерева, Е.С.** Зеленый конвейер для молочного скотоводства в условиях Центральной Якутии : Методическое пособие / С. А. Павлова, Н. Т. Попов, Е. С. Пестерева. - Якутск, 2015.- 150 с.
6. **Пестерева, Е.С.** Сенаж в упаковке в условиях Центральной Якутии : Методическое пособие / Е. С. Пестерева, Н. Т. Попов, С. А. Павлова [и др.]. - Якутск, 2015. - 141 с.
7. **Пестерева, Е.С.** Возделывание однолетних культур и многолетних трав на зеленый конвейер в условиях Центральной Якутии : Методическое пособие / ЯНИИСХ. - Якутск : ООО РИЦ «Офсет», 2015. – 28 с.
8. **Пестерева, Е.С.** Кормопроизводство / Н. Т. Попов, С. А. Павлова, Е. С. Пестерева [и др.] // Система ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия) на период 2016-2020 годы : Методическое пособие. – Кемерово : ООО «Технопринт», 2017. - С. 156 -195.
9. **Пестерева, Е.С.** Кормопроизводство / Е. С. Пестерева, С. А. Павлова, Г. Е. Захарова [и др.] // Система ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия) на период 2021-2025 годы : Методическое пособие – Белгород : 2021. - С. 201-241.
10. **Пестерева, Е.С.** Система земледелия, растениеводство / А. И. Степанов, П. П. Охлопкова, В.И. Алексеева [и др.] // Система ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия) на период 2021-2025 годы : Методическое пособие / ЯНЦ СО РАН, Якутский НИИСХ – Белгород : 2021. – С. 101-200.