

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук»
Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
им. М.Г. Сафронова (ЯНИИСХ)

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, растениеводство

Диссертация
на соискание ученой степени
доктора сельскохозяйственных наук

Научный консультант: Будажапов Лубсан-Зонды Владимирович
член - корреспондент РАН
доктор биологических наук, профессор

Новосибирск, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПАРАДИГМЫ ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЯ В МЕРЗЛОТНЫХ РЕЖИМАХ.....	15
1.1. Фотосинтетическая деятельность растений, отклик на стресс - факторы и возможности их нивелирования.....	16
1.1.1. Реакция растений на температурные режимы, активность C_3 и C_4 типа фотосинтеза	17
1.1.2. Влияние эндо- и экзо- факторов на фотосинтетическую продуктивность растений.....	21
1.1.3. Ресурсы ФАР при дефиците солнечной инсоляции.....	36
1.2. Криорезистентность и кинетика роста растений.....	40
1.2.1. Критерии оценки ростовых процессов в онтогенезе	42
1.2.2. Внешняя и внутренняя регуляция роста растений.....	44
1.2.3. Математические модели в оценке роста растений.....	48
1.3. Нивелирование рисков возделывания и урожай полевых культур.....	53
ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	58
2.1. Характеристика полевых опытов.....	58
2.1.1. Общее построение.....	58
2.1.2. Особенности постановки.....	63
2.2. Метеорологические условия.....	72
2.3. Характеристика мерзлотных почв.....	76
2.3.1. Показатели плодородия и гидротермический режим.....	77
2.3.2. Портретно-профильная характеристика.....	79
2.4. Методы оценки, анализ и интерпретация.....	84
ГЛАВА 3. УРОЖАЙ ПОДСОЛНЕЧНИКА И ОЦЕНКА ВОЗДЕЛЫВАНИЯ: СТАТИСТИКИ И КИНЕТИКА РОСТА РАСТЕНИЙ, ЭНЕРГО- ПРОТЕИНОВЫЙ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ.....	87
3.1. Теоретическое обоснование урожаев.....	92

3.2. Статистики урожая и сопряженность с абиотическими факторами.....	94
3.3. Фенологические фазы и кинетика роста растений.....	97
3.4. Энергетические и кормовые достоинства.....	100
3.5. Экономический эффект возделывания.....	105
ГЛАВА 4. УРОЖАЙ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ И ОЦЕНКА РИСКОВ	
ВОЗДЕЛЫВАНИЯ: СТАТИСТИКИ, КОРМОВАЯ ЦЕННОСТЬ	
И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ.....	110
4.1. Теоретическое обоснование урожая.....	114
4.2. Статистики урожая и сопряженность с абиотическими факторами.....	116
4.3. Фенологические фазы и кинетика роста растений.....	118
4.4. Энергетические и кормовые достоинства.....	122
4.5. Экономический эффект возделывания.....	127
ГЛАВА 5. УРОЖАЙ КУКУРУЗЫ И СПЕЦИФИКА ВОЗДЕЛЫВАНИЯ:	
СТАТИСТИКИ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И КОРМОВЫЕ	
ДОСТОИНСТВА, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ.....	133
5.1. Теоретическое обоснование урожая.....	138
5.2. Статистики урожая и сопряженность с абиотическими факторами.....	140
5.3. Фенологические фазы и кинетика роста растений.....	142
5.4. Энергетические и кормовые достоинства.....	146
5.5. Экономический эффект возделывания.....	151
ГЛАВА 6. УРОЖАЙ РЕДЬКИ МАСЛИЧНОЙ И РИСКИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ:	
СТАТИСТИКИ, ЭНЕРГО- ПРОТЕИНОВЫЕ ДОСТОИНСТВА	
И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ.....	158
6.1. Теоретическое обоснование урожая.....	163
6.2. Статистики урожая и сопряженность с абиотическими факторами.....	164
6.3. Фенологические фазы и кинетика роста растений.....	166
6.4. Энергетические и кормовые достоинства.....	168
6.5. Экономический эффект возделывания.....	172

ГЛАВА 7. УРОЖАЙ ПРОСО И РИСКИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ: СТАТИСТИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И КОРМОВЫЕ ДОСТОИНСТВА, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ.....	177
7.1. Теоретическое обоснование урожая.....	183
7.2. Статистики урожая и сопряженность с абиотическими факторами.....	184
7.3. Фенологические фазы и кинетика роста растений.....	186
7.4. Энергетические и кормовые достоинства.....	189
7.5. Экономический эффект возделывания.....	194
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	199
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ.....	200
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.....	206
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	207
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	261

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Современная концепция и высокая мотивированность создания высококачественной кормовой базы в мерзлотных режимах при крайне не-устойчивых урожаях и скудном ассортименте кормовых культур настоятельно диктует необходимость теоретического обоснования с разработкой и внедрением высокоэффективной системы агротехнологических мероприятий по снижению рисков возделывания однолетних кормовых культур в расширенном их реестре как новая научно -технологическая парадигма формирования устойчивых урожаев, независимо от гидротермических режимов мерзлотных почв и биологических особенностей, с высокими энерго-протеиновыми достоинствами в земледелии мерзлотных режимов Республики Саха (Якутия).

В этой связи, анализ теоретических предпосылок и лучших научных практик по возделыванию кормовых культур, в т.ч. критических для растений режимах, с учетом лимитирующих урожай неблагоприятных внешних факторов на почвах с разным плодородием позволяет выстроить адаптированную к мерзлотным режимам совокупность практических приемов, которые позволяют гарантировать высокую их продуктивность. При этом, оценка экономических рисков их возделывания вкупе с компенсацией ресурсных и финансовых затрат выступает ключевым критерием в реализации разработанных систем мероприятий, общая совокупность которых представляет Комплексная Программа пространственного развития региона в части сельскохозяйственного производства и развития ресурсов реализуется Постановлением Правительства РФ № 1614 от 30.09.2023г.

Расширение географии возделывания однолетних кормовых культур на мерзлотных почвах в земледелии северных широт (подсолнечник, суданская трава, кукуруза, редька масличная и просо) предполагает агротехнологические риски (Шатилов и др., 1982, 2004; Посыпанов, 1997; Савич и др., 2010а; Кашеваров, 2004, 2007, 2016; Мазиров и др., 2018, 2022; Зезин и др., 2018, 2019, 2023; Кирюшин, 2016, 2018, 2020, 2023). Последние связаны с выраженным доминированием холодных воздушных масс в годовом обороте, низким энергетическим статусом почв, дефицитом тепловых ресурсов с ограниченным приходом солнечной

инсоляции и тотальном присутствии в почвах многолетней толщи вечной мерзлоты (Куликов и др., 1997; Замараев и др., 2005; Духанин и др., 2006; Десяткин, 2009, 2019, 2020; Степанов, 2016; Железняк и др., 2020; Иванов, 2023). Как следствие, обоснование потенциального и эффективного урожая кормовых культур в части снижения и нивелирования негативного воздействия лимитирующих факторов и технологических рисков их возделывания на мерзлотных почвах приобретает ключевую значимость (Каюмов, 1989а; Будажапов, 1998). До настоящих исследований, подобные оценки, кроме единичных, отсутствовали. Причем, результаты краткосрочных полевых опытов на мерзлотных почвах по возделыванию суданской травы и просо констатировали их бесперспективность в качестве достойных кормовых культур (Попов, 1987). Доказательность рисков их возделывания с оценкой изменения энергетического статуса и кормовых достоинств этих кормовых культур оставалась вне поля научных притязаний.

Анализ массива данных по урожаю однолетних кормовых культур и особенностям их возделывания в земледелии Западной Сибири (Бенц и др., 2001; Мустафин, 2005; Кашеваров и др., 2004, 2007, 2016; Бойко, 2002, 2019), Уральском регионе (Зубарев и др., 2021, 2022; Зезин и др., 2018, 2023; Панфилов и др., 2022), Забайкалье (Батудаев, 2003; Будажапов, 2019, 2023) и Республике Саха (Якутия) (Попов, 1987; Попов и др., 2017; Павлова и др., 2020; Осипова и др., 2023) свидетельствуют о высоком их потенциале при создании устойчивой кормовой базы с высокими кормовыми достоинствами. При этом, высокотехнологичные решения по снижению стрессов позволяют увеличить выход кормов с высокой энерго- протеиновой ценностью.

Соответственно, теоретическая оценка урожаев разных уровней однолетних кормовых культур по основным лимитирующим урожай факторам (ФАР, гидротермический режим, плодородие почв и технологии) вкупе с изменением энергетического статуса и конкурентной их способности за счет снижения рисков возделывания представляется наиболее мотивированной позицией в плане увеличения урожая и насыщения кормовой базы. Возделывание этих культур позволяет значительно расширить скудный реестр кормов в мерзлотных режимах

и выступает одним из наиболее актуальных и перспективных направлений современного развития земледелия в Республике Саха (Якутия).

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 снижения рисков получения урожая сочных кормов на мерзлотных почвах с построением разных уровней урожаев 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 этих культур 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 впервые 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. Впервые позитивный эффект последних на мерзлотных почвах доказан через кинетические характеристики (k) нарастания зеленой их массы и изменение энергетического статуса посевов.

Впервые в практике анализа результатов исследований на мерзлотных почвах активно использованы методы вариационно-статистического и корреляционного анализа с построением математических моделей. Научная новизна подобной 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. Впервые 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 стресс факторов роста растений с обоснованием получения урожаев однолетних кормовых культур в мерзлотном земледелии. Теоретическая значимость результатов определяется форматом апробированных теоретических подходов совершенствования принципов получения урожая на мерзлотных почвах при наличии выраженных абиотических стресс факторов. На этой основе реализованы теоретические уровни урожая в виде

потенциального и действительно возможного с переходом к производственному как наиболее значимая теоретическая часть. Подобные подходы отражают одну из лучших теоретических практик обоснования 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 морфобиологическими 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 последних позволяет выстроить уникальную базу данных для этих культур, формирование и наполнение которой служит основой для построения прогнозных сценариев. В этой совокупности аналитических оценок выражена едва ли не лучшая теоретическая значимость работы по исключению рисков возделывания однолетних кормовых культур в мерзлотном земледелии. Именно эта теоретическая часть позволяет раскрыть спектр новых доказательств и предположений. В теоретической значимости достигнутых результатов 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 этих арктических широтах получила практическую верификацию при существенном пополнении скудного реестра кормовых культур. В практической ценности результатов доказана ключевая роль внесения полного минерального удобрения в сочетании с посевом в первой декаде июня и доказанном 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 результатов в получении высоких урожаев однолетних кормовых культур представляет совершенствование общепризнанных принципов построения высокопродуктивных и устойчивых 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, двух монографиях, двух учебных пособиях, восьми патентов на изобретение РФ, четырех свидетельств о регистрации базы данных РФ, десяти 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. Значительная часть представленной диссертационной работы выполнена лично автором при активном участии на всех этапах исследований. 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. Непосредственно подготовка, обработка и анализ исходных экспериментальных данных и материалов, написание диссертационной работы.

Благодарности. Автор выражает огромную благодарность и искреннюю признательность научному консультанту - член-корреспондент РАН, д.б.н. профессор Л.В. Будажапову и первому научному руководителю, д.с.-х.н. профессору Н.Т. Попову; руководству и коллективу Якутского научно-исследовательского института за постоянную поддержку при выполнении работы на всех этапах. Отдельная благодарность коллегам за незаменимую помощь в проведении экспериментальной части исследований и подготовке диссертационной работы (д.с.-х.н. Павлова С.А., к.с.-х.н., Захарова Г.Е., с.н.с. Жиркова Н.Н.). Благодарность семье, близким и коллегам за понимание, помощь и поддержку.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПАРАДИГМЫ ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЯ В МЕРЗЛОТНЫХ РЕЖИМАХ

В настоящее время накоплен достаточно обширный массив различных предпосылок, прямых и косвенных мнений, а равно вполне обоснованных теоретических предположений и экспериментальных данных, отражающих специфичность отклика растений в виде изменений ростовых, физиологических, биохимических процессов, на кратковременное, периодическое и пролонгированное воздействие природных неуправляемых стресс - факторов различной природы (Прянишников, 1945; Тимирязев, 1957; Сабинин, 1963; Шевелуха, Ковалев, 1973; Лиф, Стайлс, Дикенсон, 1977; Рубин, 1979; Вавилов, 1982; Эдвардс, Уокер, 1986; Ничипорович, 1972, 1978, 1988; Каюмов, 1986, 1989б; Жученко, 1989; Гавриленко, 1990; Шевелуха, 1992; Якушкина, 1993; Калашников, Ковалев, 1995; Батыгин, 1995; Удовенко, 1995; Ковалев, 1997; Израэль, 2011; Гамзикова, 2006; Будажапов, 2009, 2019б; Завалин, 2016; Wittwer, 1979; Bodde, 1982; Bartoli, 2013; Falkowski, 2017). При всей очевидности достигнутой высокой результативности целой серии фундаментальных и поисковых исследований отечественных и зарубежных авторов, как в теоретическом, так прикладном определении наиболее «уязвимых» позиций, огромный массив вопросов по отклику растений на критические параметры роста и развития (мерзлота и холод, засуха и опустынивание земель, потепление и аридизация, оттаивание мерзлоты и др.), за очень редким исключением, остается открытым (Сидоренко, 2010; Иванов, 2021; Будажапов и др., 2021, 2022, 2023; Kira, 2017; May, 2017; Jürgen, 2023). В этом восприятии, соответственно риски возделывания полевых культур, особенно новых для арктического региона кормовых теплолюбивых однолетних культур, диктуют обоснованность введения их в культуру на мерзлотных почвах при выраженном дефиците тепловых ресурсов и превалировании холодных воздушных потоков как новая научно-технологическая платформа построения высокопродуктивных агроценозов

кормовых культур в широком спектре видового состава для пополнения кормовой базы в Арктических условиях.

Анализ достаточно обширного теоретического материала и результатов исследований в полевых, лабораторных и модельных (фитотроны) опытах позволяет резюмировать важнейшие достижения в аспекте отклика растений на критические условия процесса фотосинтеза, каждый из которых в общей их совокупности формирует научные парадигмы в формате «стресс фактор и фотосинтез - урожай». Подобные аналитические обобщения в приложении для мерзлотных режимов Арктики и Субарктики ранее не предпринимались.

1.1. Фотосинтетическая деятельность растений, отклик на стресс - факторы и возможности их нивелирования

Классическая теория фотосинтетической продуктивности растений (Ничипорович, 1972, 1982) дополненная фундаментальными работами рядом отечественных (Рубин, Гавриленко, 1977; Якушкина, 1993; Ковалев, 1997) и зарубежных авторов (Hill, 1937; Арнон, 1962; Bennett, 1984; Nikitin, 2017) построенная на оптимизации абиотических факторов (аэрация, радиационный режим, водообмен, температурный режим, приход ФАР и др.) и внутренних ресурсов растений (листовая поверхность, активность хлорофилла, питания), а равно особенностей прохождения и внутренней трансформации фото - физического, фото-химического (световая фаза) и ферментативного (темновая) этапов фотосинтеза соответственно на уровне возбуждения электронов, фото-фосфорилирования с образованием НАДФ·Н и АТФ и карбоксилирования - восстановления - регенерации РДФ (рибулезо- дифосфат) позволила вскрыть тонкие фундаментальные природные процессы и выстроить систему мероприятий по управлению фотосинтетической деятельностью растений. Последнее для наиболее критических параметров функционирования растений (холод и мерзлота, дефицит тепла и влаги) под постоянной нагрузкой внешних и внутренних факторов во многом остается без решений и доказательств.

1.1.1. Реакция растений на температурные режимы, активность C_3 и C_4 типа фотосинтеза

Выборка отдельных результатов и анализ их в сравнительной ретроспективе позволяет выявить изменения ключевых количественных и качественных характеристик этого процесса. Выборка отдельных представлена ниже. В оценке отклика растений к типичным природным стресс-факторам авторы отмечают не специфичность физиологических реакций растений на подобное их воздействие (Батыгин, 1995; Ковалев, 1997; Crofts-Brander et al., 1987; Sharma, 2012; Stefanov, 2022; Stephen, 2015, 2022).

Подобное, по общему мнению авторов, определяется и тем, что действие одного фактора вызывает повышение устойчивости к другим (Батыгин, 1995; Ковалев, 1997; Foyer, 2017, 2018). При этом понятие о не специфичности к оценке адаптации растений к разным неблагоприятным факторам среды, в т.ч и критическим природным стрессам, имеет принципиально важное значение, поскольку позволяет использовать эти данные по реакции растений при изучении устойчивости к какому - либо одному виду стресса (табл.1). Как следствие, разный отклик этих физиологических параметров оказывает воздействие на проявление фотосинтетической активности растений и, главным образом, фото- физического и фото- химического (световая фаза) этапов фотосинтеза. Помимо этого, авторы отмечают поли- вариантность путей развертывания онтогенетического развития растительного организма под нагрузкой этих стрессовых условий, характер проявления которых позволяет в определенной мере, нивелирует возможные специфические отклонения роста и развития растений.

В ряду внешних воздействий на фотосинтетическую деятельность растений отметим результаты отклика фотосинтеза под воздействием разных физических и химических агентов, которые обеспечивали усиление процесса (Батыгин, 1995; Ковалев, 1997). В реестре из 14 изучаемых признаков наиболее активное влияние оказали γ и рентгеновские лучи (моделирование вспышек солнечной активности), ультрафиолетовое излучение (эффект солнечного воздействия), импульсный концентрированный свет (имитация направленного воздействия мощного

освещения), постоянный ток электромагнитного поля (модель непрерывного импульса), воздействие химических препаратов в виде регуляторов метаболизма, гербицидов, естественных стимуляторов роста растений и ретардантов.

Таблица 1 - Отклик физиологических изменений растений на стрессы *

Параметры оценки		Характер изменений на стресс условия			
		низких температур	дефицит тепла	засуха	высоких температур
1.	Активность воды в клетке	падает	падает	падает	падает
2.	Осмотический потенциал	растет	растет	растет	растет
3.	Интенсивность транспирации	падает	падает	падает	растет
4.	Водоудерживаю- щая способность	растет	растет	растет	растет
5.	Водный дефицит	растет	растет	растет	растет
6.	Интенсивность дыхания	растет	растет	растет	растет
7.	Фото- фосфо- рилирование	падает	падает	падает	растет
8.	Деление клеток	варьирует	тормозится		варьирует
9.	Старение органов	ускорено	слабое	ускорено	ускорено
10.	Функциональная активность ДНК	снижается	подавлена	снижается	снижается
11.	Синтетические реакции	подавлены	ослаблены	подавлены	подавлены
12.	Проницаемость протоплазмы	данные отсутствуют		растет	растет
13.	Транспорт веществ	подавлен	ограничен	подавлен	подавлен
14.	Биологический урожай	понижен	понижен	понижен	понижен

* Г.В.Удовенко (1995), В.М. Ковалев (1997)

Последняя, в этом восприятии, по усилению фотосинтетической активности в жестких эколого-почвенных мерзлотных режимах представляется одним из реальных «ключей» к повышению продуктивности полевых (кормовых) культур на

типичных мерзлотных почвах при дефиците солнечной инсоляции и слабой освещенности в условиях Арктики и Субарктики.

Общепризнанно, в зависимости от пути фиксации CO_2 различают C_3 - и C_4 -растения. При этом, у первых C_3 -растений, к которым принадлежит большинство видов, первичная фиксация CO_2 в цикле Кальвина происходит путем карбоксилирования рибулезо- 1,5- дифосфата (РДФ) с образованием C_3 -органических кислот (Плешков, 1982; Ковалев, 1997; Якушкина, 1993; Calvin, 1948). У этих растений значительная часть фиксированной углекислоты вновь выделяется в процессе фото-дыхания. В отличие от этих растений, у некоторых, благодаря работам ряда авторов, доказано наличие у растений C_4 -пути фотосинтеза. По мнению авторов, эволюционно C_4 -путь возник, согласно предположением, как механизм приспособления этого общепланетарного явления к изменившимся условиям среды с низким содержанием CO_2 в атмосфере (Тарчевский, Карпилов 1963; Шатилов, Шаров, 1978; Якушкина, 1993; Ковалев, 1997; Иванищев, 2017, 2019, 2020, 2021; Доброхотов, 2016; Kortschak et al., 1965; Hatch, Slack, 1966; Bräutigam, 2014; Pinto, 2014; Gutteridge, 2018; Naoran, 2023). В первых еще опытах с применением меченых ^{14}C (Kortschak et al., 1965) доказано первичность образования, главным образом, C_4 -кислот (аспарагат и малат), а не фосфоглицериновых кислот (ФГК).

Определяющие характеристики и различия процесса фотосинтеза и продуктивности в зависимости от C_3 и C_4 растений представлены в таблице 2. На этом основании резонно предположить наличие схемы C_4 -цикла фиксации CO_2 (Hatch, Slack, 1966). В дальнейшем C_4 -растения были выявлены среди представителей 16 семейств, к которым принадлежат многие злаковые культуры, в т.ч. многолетние злаковые травы. В большинстве случаев к C_4 -группе растений принадлежат виды и представители засушливых и мерзлотных ареалов распространения, как правило, устойчивые к спектру критических параметров из развития (высокие и низкие температурные градиенты, засуха, засоление, очень высокие и низкие температуры с пролонгированным проявлением).

Таблица 2 - Свод обобщенных важнейших показателей и характеристик фотосинтетической активности и продуктивности C_3 - и C_4 - растений (по выборке отечественных и зарубежных авторов)

Показатели оценки	Ед. измер.	Тип C_3 -растения	Тип C_4 -растения	Литературный источник
Хлоропласты паренхимы	-	отсутствуют	имеются	Эдвардс и др.,1986; Якушкина,1993; Ковалев,1997
Продукты первичной фиксации CO_2	-	ФГК	яблочная / аспарагиновая кислота	
Оптимальная t° фотосинтеза	$^\circ C$	20 ... 25	30 ... 40	Raghavendra,1978; Берри и др.,1987
Световое насыщение фотосинтеза	клк	20 ... 40	60 ... 90	Raghavendra,1978; Рубин,1979;
CO_2 компенсационный пункт	%	> 0.005	< 0.005	Рубин и др.,1977; Raghavendra,1978; Якушкина,1993; Ковалев,1997
Оптимальная концентрация CO_2 воздухе	%	0.07 ... 0.10	0.03 ... 0.04	
Ингибирован. скорости фотосинтеза O_2	-	выражено	не поддается измерению	Натр,1984; Эдвардс и др.,1986
Максимальн. интенсивн. фотосинтеза	$mgCO_2$ $dm^{-2}ч^{-1}$	25 ... 40	50 ... 90	Натр,1984
Максимальн. сут. прирост биомассы	ц / га сутки	1.5 ... 3.0	8.0 ... 9.0	Ковалев,1997
Транспирационный коэффициент, $сут^{-1}$	$г \cdot H_2O$ $г \cdot сух$ массы	400 ... 500	200 ... 400	Якушкина,1993; Коваленко,1997

По общей их оценке, для C_4 - растений эффективность использования воды при транспирации вдвое выше, чем C_3 - растений, отражая в этом их проявлении механизм приспособления к изменившимся условиям внешней среды, в т.ч. на уровне предположений и к стресс- условиям (априори). Последние в этом смысле,

вполне резонно транспортировать и к мерзлотным режимам как крайним проявлениям адаптации.

В настоящее время, согласно общепринятым оценкам, зависимость процесса фотосинтеза C_3 - и C_4 -растений от внешних абиотических факторов (освещенность, концентрации CO_2 в воздухе, температуры) и внутренних параметров листа растений (хлоропласты в паренхимной обкладке, строение хлорофилла и тилакоидов, содержания азота в листьях) является достаточно устойчивым с различиями в пиковых (максимальных) значениях при общей направленности и схожем характере отклика в виде различных регрессионных кривых изменений активности фотосинтеза по этим изучаемым признакам (табл. 2).

1.1.2. Влияние эндо- и экзо- факторов на фотосинтетическую продуктивность растений

В этом контексте оценок зависимость фотосинтеза от облучения (освещенности) выражается характерной «световой кривой». При этом, расход CO_2 в темноте (при дыхании) с постоянным возрастанием интенсивности освещения снижается и достигает «нулевого» значения» - точка компенсации, когда скорость фотосинтеза и дыхания становятся равными (Ковалев, 1997). Именно эта «точка» служит критерием роста растений, поскольку рост может идти только при освещенности выше компенсационной точки. Причем, чем ниже интенсивность дыхания, тем ниже компенсационная точка. Установлено, что при низких значениях освещения, что повсеместно наблюдается в Арктических широтах, использование световой энергии бывает максимальным, и в таких условиях последняя выступает лимитирующим фактором. В этой оценке у C_3 -растений во второй части «световой кривой» происходит полное световое насыщение, которое наступает при интенсивности облучения 0.5-0.6 от полной дневной освещенности. В этом случае, скорость процесса ограничивается скоростью транспорта CO_2 из окружающего растений воздуха в хлоропласты и скоростью ферментативных реакций фиксации CO_2 (Рубин и др., 1977; Якушкина, 1993; Ковалев, 1997). Иной сценарий активности фотосинтеза в зависимости от освещенности проявляется у C_4 -

растений, которые более требовательны к свету (кукуруза, подсолнечник и сорго). Именно первые две культуры выступают в наших исследованиях частью изучаемых объектов. Соответственно, отклик этих теплолюбивых культур на эти ограничения освещения как стрессовое условие представляют несомненный интерес. Как следствие, у таких C_4 растений интенсивность фотосинтеза непрерывно возрастает и световое насыщение (выход на плато регрессионной кривой) не достигается даже при самой высокой освещенности. В этом различии двух типов фотосинтеза по C_3 - и C_4 - растений следует отметить два важных момента. Первый - многочисленными исследованиями доказано, что наклон «световой кривой» и точка компенсации существенно различаются по видам, генотипам и листьям разных ярусов растений (Ковалев, 1997). И второй - с ростом интенсивности освещения возрастает роль световых реакций (фото-химический этап) и темновые реакции (ферментативный), особенно при C_4 пути фотосинтеза, не поспевают за ними.

С практических позиций важнейшим является повышение коэффициента и использование солнечной энергии растениями или к.п.д. ФАР (Шатилов, 1978; Каюмов, 1991; Будажапов, 1998, 2009, 2023). Последний представляет отношение количества энергии, запасенной в продукции фотосинтеза или образовавшейся в фитомассе урожая, к количеству использованной радиации. В этом восприятии, В.М. Ковалев (1997) приводит расклад максимально теоретически возможного к.п.д. ФАР на уровне 16.8%. В реалиях технологических схем возделывания полевых культур с учетом разных составляющих в подобных оценках принято считать к.п.д. ФАР не выше 1.5-2.0% вплоть до ожидаемых 3%.

Одним из ключевых показателей интенсивности фотосинтеза служит содержание (концентрация) CO_2 в воздухе. При концентрации CO_2 в естественных условиях очень мала - около 300 мг/л или 0.03% и каждое изменение (колебание) его содержания отражается на величине фотосинтеза. Соответственно, оценка отклика C_3 - и C_4 - растений на подобные колебания имеет практическую значимость, тем более в условиях Арктического и Субарктического пояса. В этом смысле, у растений C_4 насыщение углекислотой происходит при более низких ее

концентрациях (0.04%), чем у C_3 - растений (0.1%). Это оценивается как существенный практический эффект.

По данным зарубежных авторов, при оценке влияния концентрации углекислоты на фотосинтез, рост биомассы и урожай зерна сои при увеличении содержания CO_2 в воздухе с 315 до 630 мкл/л увеличение фотосинтеза составило 53%, биомассы растений - 43% и урожая зерна - 32% (Allen et al., 1987). При изучении влияния концентраций CO_2 в воздухе (350 и 700 мкл/л) на интенсивность фотосинтеза, рост, развитие и продуктивность пшеницы и ячменя при разных температурных режимах в период день - ночь (20-14°C, 23-17°C и 28-23°C) на фоне низкой обеспеченности растений азотом с мощностью лучевого потока 130 Вт/м² выявлена возможность повышения зерновой продуктивности вдвое. При этом, уровень продуктивности пшеницы возрос в среднем на 43% и ячменя - на 54%. При низкой обеспеченности азотным питанием возрастание углеродного питания сопровождалось возрастанием не более чем на 25%.

В обобщенном определении увеличение концентрации CO_2 в воздухе активизирует интенсивность фотосинтеза и ингибирует дыхание растений, ослабляет жесткость водного стресса и повышает устойчивость к стрессовым условиям (засуха - мерзлота, дефицит осадков - высокие температуры и пр.). Под влиянием CO_2 растягивается период дегидратации тканей вследствие снижения интенсивности потерь воды в период стресса. При этом рост концентрации CO_2 способствовал лучшей адаптации растений к повышенным, а равно пониженным температурным режимам (Ковалев, 1997). В этом восприятии отклик растений на изменение концентрации CO_2 под воздействием мерзлотных стрессовых условий (низкие температуры, дефицит влаги и широкий градиент температур) при определенном допущении можно адекватно транспорировать на интенсивность и направленность активации процесса фотосинтеза в Арктических режимах. Последние требуют адресных и пролонгированных оценок, поскольку без таковых подобные отражают аналитические допущения в виде «априори» мнений, не позволяя коррелировать доказательность оценок. Тем не менее, значимость концентрации CO_2 является ключевым в этом критерии.

Типичная направленность регрессионных кривых зависимости фотосинтеза у C_3 - и C_4 -растений от температурных значений отражает характерную панораму с одним максимальным пиком продуктивности, но по разным значениям температур соответственно в стандартных диапазоне оценок. При этом, у большинства растений наиболее благоприятными температурами служит диапазон от 10 до 35 °C (Рубин и др., 1977; Ковалев, 1997). Однако, известная вариативность температур в течение суток и вегетационного периода отражается на отклике растений (листовой пластины) в виде постоянной адаптации фотосинтетического аппарата к изменению температур. Причем, характер адаптации к высоким и низким температурам, по данным авторов, проявляется в различном определении. Так, если приспособительная функция растений к высокой температуре в значительной мере обусловлена возрастанием температурной устойчивости мембран хлоропластов, то их адаптация к низким температурам - повышением активности ферментов, лимитирующих скорость фотосинтеза (Якушкина, 1993; Ковалев, 1997; Берри, Даутон, 1987). В случаях, когда значения температур опускаются ниже 0°C фотосинтетические процессы, согласно оценкам авторов, тормозятся значительно вследствие торможения скорости ферментативных реакций процесса с обезвоживанием клеток и внутриклеточным образованием ледяных компонентов. Именно наличие последних в длительном и возможно массовом проявлении выступают в качестве критерия существенно ограничивающего активность этого процесса в жестких стрессовых условиях Арктических широт.

По данным отечественных и зарубежных авторов, повышение температур сопровождается стимулированием процессов темнового дыхания в процессе ферментативного этапа фотосинтеза, при доминировании которого снижается поглощение растениями CO_2 (Mooney et al., 1978; Натр, 1984; Якушкина, 1993). При насыщающих интенсивностях света, изменение темного дыхания (зависимое от температуры), по мнению авторов, не оказывает существенного влияния на связь чистого фотосинтеза с температурами. В ряде исследований показано, что наблюдаемое при высокой температуре снижение фотосинтеза не связано с усилением лимитирования фотосинтеза со стороны устьиц. В работах других

авторов, выявлено, что при увеличении температуры выше оптимальной повышается концентрация CO_2 в межклеточниках. Как следствие, температура действует в первую очередь на активность реакций фотосинтеза. В аспекте постоянного наличия типичных низких температур в мерзлотных режимах с определенной сезонной периодичностью их воздействие на фотосинтетическую деятельность теплолюбивых кормовых однолетних культур выступает одним из наиболее существенным стрессовым параметром в функционировании процесса фотосинтеза этих растений. Как следствие, общепризнанная высокая продуктивность этих культур ожидаемо и существенно ограничивается именно этим абиотическим признаком в реалиях этого региона.

Не менее значимым фактором выступает недостаток воды, дефицит которой, прежде всего, сказывается на открытии устьиц, и, если устьицы закрыты, транспирация и поглощение CO_2 листьями резко снижается, лимитируя активность процесса фотосинтеза. По данным Н.И. Якушкина (1993), количество воды, потребляемой для образования углеводов, представляет незначительную часть по сравнению с общим содержанием воды, необходимым для поддержания клетки в тургорном состоянии. При этом, по мнению автора, заметное снижение интенсивности фотосинтеза отмечается при увеличении водного дефицита свыше 15-20%. При сильном обезвоживании клеток наступают структурные изменения фотосинтетического аппарата в виде повреждений структуры тилакоидов, снижается активность ферментов и др., ограничивающие скорость фотосинтеза.

Различия по эффективности использования воды C_3 - и C_4 -растениями объясняются, по оценке В.И. Ковалева (1997), наличием у последних при закрывании устьиц отношение C / C_o снижается (C - концентрация CO_2 в межклеточниках, C_o - в окружающей среде) без существенного ограничения их способности к поглощению CO_2 . Это прямое следствие, большой крутизны наклона кривой C_4 - растения, отражающей зависимость фотосинтеза от концентрации углекислоты.

Минеральное питание, по многочисленным данным отечественных и зарубежных исследователей, оказывает существенное влияние на

фотосинтетический аппарат растений, в частности - на формирование морфологической и анатомической структуры растений и образование хлоропластов (Прянишников, 1945, 1953; Ничипорович, 1973; Гамзикова, 2008; Будажапов, 2005, 2019а; Wolff, 2013; Bhatla, 2018; Lambers et al., 2019; Sarwar et al., 2019; Meng, 2021).

Согласно классическим общепризнанным оценкам, максимальная скорость, а значит и продуктивность фотосинтеза наблюдается при оптимальной обеспеченности растений элементами минерального питания (Сапожников, 1940; Кореньков, 1976; Гамзиков, 1981; Сычев, 2010; Соколов, Черников, 2016; Завалин, 2018; Будажапов, 2019, 2023). Причем, на разных этапах процесса превалирующими и определяющими благоприятное течение каждой составляющей процесса фотосинтеза обеспечивается присутствием конкретного и доминирующего элемента питания. В частности - фосфор необходим на всех этапах такого ключевого процесса как фосфорилирования компонентов, в котором участие и присутствие такого элемента как магния является просто необходимым. Калий как один из ведущих макроэлементов в цепи биохимических превращений необходим в повышении обводненности цитоплазмы, ускорения оттока ассимилятов из листьев и при увеличении степени открытости устьиц. Работами целой серии опытов доказано определяющее значение дефицита калия и фосфора в повышении интенсивности дыхания растений.

В этом широком реестре элементов питания растений роль марганца в реакциях фотоокисления воды незаменима и является важнейшей составляющей в этом. Ряд элементов и соединений функционируют как переносчики и содержат железо (цитохромы, ферродоксин) или мель (пластоцианин).

Среди важнейших элементов питания главная принадлежит азоту и азотистым соединениям. Никакой белок, а тем более ферментные компоненты, участвующие в фотосинтезе, не формируются без участия азота. Классик отечественной науки о растениях и роли фотосинтеза К.А. Тимирязев (1957) всегда указывал значимость минерального питания растений в функционировании

растений и в регулировании активности фотосинтеза, а значит и выхода продукции растений как интегральную составляющую этого фундаментального процесса.

В этом аспекте признаков управление минеральным питанием растений и в частности - однолетних кормовых культур в Арктическом преломлении, представляет наиболее мобильный и реальный рычаг направленного решения фотосинтетической их деятельности, а значит и роста продуктивности культур. В последующем изложении результатов (Главы 3-7) момент воздействия полного минерального удобрения на их продуктивность рассмотрен ниже.

В естественных условиях, как правило, процесс фотосинтеза протекает в аэробных условиях при концентрации кислорода O_2 на уровне 21% и любое отклонение от этого присутствия его в среде (увеличение и снижение, вплоть до отсутствия) сказывается крайне неблагоприятно для растений (Ковалев, 1997; Kihara, 2014; Fischer, 2016; Krause, 2019). Причем, разные виды растений различно реагируют на снижение концентрации O_2 в среде, непосредственно примыкающей к растениям. Согласно классическим работам А.А. Ничипоровича (1973) растения бобов, для которых характерно наличие активного фото-дыхания, позитивно откликались на снижение кислорода с 21 до 3%. В этом же воздействии, для растений кукурузы, у которых процесс фото-дыхания практически отсутствует, не отмечалось изменение в интенсивности фотосинтеза при переносе растений в среду со сниженной концентрацией O_2 с 21 до 3%.

По мнению авторов, обусловлено тем, что кислород в этом случае выступает акцептором электронов, окисляя различные компоненты электронно - транспортной цепи. При нарушении процессов регенерации НАДФ⁺ сброс части электронов на кислород обеспечивает нормальное функционирование ЭТЦ, а значит возможность синтеза АТФ (Якушкина, 1993; Ковалев, 1997; Филиппова, 2017).

В этом аспекте, подобные оценки отклика растений на интенсивность фотосинтеза при любом изменении концентрации кислорода в Арктическом регионе отсутствуют и лишь косвенно при общепризнанном дефиците кислорода в мерзлотных режима можно вполне обоснованно (априори) предположить наличие у растений специфических механизмов адаптации, в т.ч и к дефициту кислорода, и

как следствие - слабая и низкая скорость (кинетика) основополагающих физиологических процессов, в т.ч. и фотосинтеза. Причем, снижение концентрации O_2 способствует образованию гликолата в хлоропластах и активации процессов фотодыхания в качестве ответного отклика растений.

Согласно общепризнанному мнению, в спектре наиболее важных внутренних признаков, которые определяют активность фотосинтетического аппарата выступают, в первую очередь, содержание хлорофилла, структура и активность хлоропластов и карбоксилирующих ферментов (Джиффорд, Дженкинс, 1987; Ничипорович, 1988; Якушкина, 1993; Зеленский, 1995; Ковалев, 1997).

Основной объективной предпосылкой функционирования важнейшего планетарного процесса как фотосинтез является наличие хлорофилла, количество которого находится в диапазоне величин 2 - 6 мг на 0.01 м^2 площади листьев (Рубин, 1974; Ковалев, 1997). Причем, значимая парная корреляционная зависимость количественного присутствия хлорофилла в растениях (листовой пластине) в большинстве проведенных исследований в стандартных условиях роста и развития растений с активностью (скоростью) фотосинтеза осталась статистически не доказанной или не выявленной. Содержание в листьях растений уникального по строению и функциям пигмента (хлорофилл), по мнению В.М. Ковалева (1997), становится лимитирующим фактором только лишь в том случае, если лист растущих растений формируется и функционирует при явном недостатке света (освещенности), дефиците воды и минеральных веществ, а также если лист поражен заболеваниями (Натр, 1984; Ковалев, 1997).

Более тесная корреляционная связь ($r \pm s_r$) наблюдалась в опытах между интенсивностью процесса фотосинтеза и активностью хлоропластов, которая обеспечивалась специфической ламелярной ультраструктурой, определяющей скорость световых реакций. Аналогично высокая парная (r) сопряженность ($r > 0.75$) выявлена между интенсивностью фотосинтеза и фотохимической активностью хлоропластов в листьях разных по уровню продуктивности сортов и гибридов полевых культур, вне зависимости от различий в течении процесса фотосинтеза у C_3 - и C_4 - растений (Рубин и др., 1977; Натр, 1984; Якушкина, 1993;

Ковалев, 1997; Кузнецова, 2014; Головацкая, 2015; Амелин, 2016; Акимов и др., 2021; Lichtenthaler, 2013; Wimalasekera, 2019; Poór, 2019;).

В подобном достаточно «тонком» материале, обеспечивающем и сопутствующем нормальное физиологическое и биохимическое течение процесса фотосинтеза в растениях за счет наличия и функционирования этих трех внутренних признаков, любые их отклонения в структуре, функции и реакциях вследствие доминирующего воздействия стрессовых условий, в т.ч. крайних проявлениях как холод и мерзлота, вполне логично следует ожидать их торможение скоростных характеристик как результат совокупного отклика на экстремальные режимы функционирования ценозов во времени и пространстве. К сожалению, подобные предположения не могут быть подкреплены какой-либо выборкой экспериментальных данных и заключений для этих мерзлотных условиях из-за отсутствия таковых по факту. Однако, при всей экстремальности арктических режимов, течение процесса фотосинтеза даже в этих режимах идет с разной интенсивностью и уровнем продуктивности, проявляя в этом высокую пластичность процесса, а равно составляющих необходимых внутренних компонентов - хлорофилла и его специфических структурных компонентов без изменений с возможно более низкой активностью хлоропластов и медленным проявлением карбоксилирующих реакций. И в этом отклике растений, результирующая функция процесса в виде урожая полевых культур на этих арктических широтах подтверждает незыблемый функционал зеленого растения (листа). Вопрос лишь в уровне последнего.

В ряду внутренних факторов, обеспечивающих процесс фотосинтеза, следует выделить и отдельные ключевые параметры, которые в силу своих функциональных характеристик также являются необходимой составляющей процесса. К числу таковых, согласно оценкам различных авторов, относятся как увеличение ширины устьичных щелей, донорно-акцепторные взаимодействия, скорость оттока ассимилятов из листа в нефотосинтезирующие клетки, торможение работы ферментов, накопление в хлоропласте метаболитов, наличие фитогормонов, активация световых реакций, а также возраст листа и самого растения. Совокупное

проявление этих внутренних факторов в разной степени их участия обеспечивает высокую продуктивность фотосинтеза.

Ограничение или лимитирование функционала одного или нескольких этих составляющих этих внутренних факторов сопровождается откликом на течение всего процесса. Так, отток и использование метаболитов, образовавшихся в процессе фотосинтеза, зависят от ростовой функции растений. Как следствие, между фотосинтезом и ростовыми процессами существует прямая и обратная связь. Причем, большое значение в осуществлении этой зависимости принадлежит фитогормонам, регулирующим фотосинтез как косвенно, усиливая ростовые процессы, так и прямо, активируя световые реакции ассимиляции углекислоты (Якушкина, 1993; Ковалев, 1997; Кулешова и др., 2020; Чернышева, 2020; Smierzchalski, 1980; Raiesi, 2014). Что касается возраста растений (листа), то наиболее интенсивно этот процесс по оценкам авторов, протекает в почти сформировавшихся листьях. У большинства однолетних растений (полевых кормовых культур) интенсивность фотосинтеза возрастает в процессе онтогенеза, достигая максимума в фазу бутонизации и цветения.

В наших многолетних исследованиях с однолетними кормовыми культурами (кукуруза, подсолнечник, редька масличная, просо и др.) их наибольшая продуктивность наблюдалась к моменту бутонизации и цветения (главы 3-7), отражая лучшую теоретическую практику фотосинтетической деятельности растений, даже в этих экстремальных мерзлотных режимах Арктики. Классическими работами доказано присутствие между этими факторами взаимосвязи как отражение общих принципов функционирования природных систем. И в этом смысле процесс фотосинтеза не является исключением и служит одним из примеров тесного их взаимного влияния на активность, а значит и на продуктивность фотосинтеза, вне зависимости от доминирования или недостатка какого-либо одного или группы признаков (Тимирязев, 1948; Прянишников, 1953; Вавилов, 1957; Елагина, 2014; Слонов, 2016; Чиков, 2016, 2018; Бендер, 2023). Причем, в этом случае проявляется общий принцип лимитирования - скорость процессов определяется фактором, который находится в минимуме.

По данным В.М. Ковалев (1997) и др. авторов при содержании CO_2 в воздухе 0.02% световое насыщение фотосинтеза наступает уже при освещенности 8 тыс. лк и с возрастанием концентрации CO_2 повышается и точка светового насыщения. Ранее, Д.Н. Прянишников (1945) и позднее рядом авторов (Кореньков, 1990; Муравин, 1991; Кидин, 2006, 2012), в т.ч. и для Сибири (Гамзиков, 2013; Гамзикова, 2016; Будажапов, 2019а, 2023; Эдельгериев, 2021), доказано напрямую или косвенно подтверждено, что наличие дефицита азота или фосфора в минеральном питании растений при высокой интенсивности света подавляет процесс фотосинтеза сильнее, чем при низкой освещенности.

Анализ накопленного материала литературных источников позволяет заключить некоторые позиции совместного их взаимодействия. Большинство данных, которые получены в исследованиях при изучении фотосинтетического CO_2 - газообмена, относятся преимущественно к внешним характеристикам процесса. Однако, при рассмотрении пакета фундаментальных позиций фотосинтетического газообмена в этом необходимы сведения о изменениях внутренних параметров во времени, которые отражают истинную кинетику процесса фотосинтеза и дыхания. По данным ВИР им. Н.И. Вавилова (Быков, 1985) поиск зависимостей внутренних параметров газообмена с их внешними параметрами с использованием модели CO_2 - газообмена на свету показал, что подобную связь можно отразить двумя параметрами - в виде константы скорости (k) фотосинтеза и фактической скоростью (k) дыхания на свету. Как следствие, повышение уровня концентрации CO_2 сопровождается пропорциональным ростом скорости (кинетики) фотосинтеза с увеличением емкости первичного метаболического пула углерода, а значит и возрастанием дыхания. В случае, если интенсивность дыхания на свету не будет определяться от концентрации CO_2 , то отношение фотосинтеза и дыхания в количественном выражении будут отличаться в несколько раз (2-3 раза) от фактических действительных величин.

По данным зарубежных авторов (Crofts-Branden et al., 1987) выявлен факт значительного усиления потерь хлорофилла и азота в листьях, ферментативной активности и обмена CO_2 при ускорении старения растений в случае удаления

колоса у гибридов кукурузы. При этом, потеря CO_2 фиксирующей способности коррелировала с возрастанием концентрации CO_2 внутри листа. Авторы пришли к заключению, что метаболические факторы, а не устьица ответственные за снижение фиксации CO_2 у растений кукурузы. Аналогичные связи выявлены (Ковалев, 1997) при оценке интенсивности фотосинтеза кукурузы при разных режимах влажности почвы и уровня азотного питания растений в контролируемых условиях (фитотрон). Доказано, что снижение влажности почвы менее 60% ПВ уже подавляло интенсивность фотосинтеза. Причем, подобное было выражено слабее у растений на пониженном азотном фоне, а увеличение температуры с 25 до 35°C не сопровождалось значимым изменением фотосинтеза, если влажность почвы поддерживалась на высоком уровне. При этом, снижение влажности почвы при повышении температур оказала отрицательное влияние на фотосинтез из-за усиления дыхания нефотосинтезирующих тканей.

В этом восприятии и интерполировании этих уникальных данных по взаимодействию и зависимости внешних и внутренних параметров для мерзлотных режимов имеет, несомненную, значимость, особенно для растений кукурузы, которые вводим как одну из наиболее актуализированных в заготовке сочных кормов в виде зеленой массы (Глава 5). Последнее позволит значительно расширить научную составляющую возделывания этой культуры в мерзлотных режимах с учетом взаимодействия и взаимозависимости внешних и внутренних факторов.

При ключевой значимости температур в мерзлотных режимах по оценке взаимодействия температур с количественным ассимилированной углекислоты в процессе фотосинтеза. По заключению авторов, повышенная температура сокращала период функционирования фотосинтетического аппарата и приводила к накоплению меньшей фитомассы. При этом, в благоприятных условиях температур воздуха (20°C днем, 17°C ночью) и других факторов, выявлены потенциальные возможности интенсивных сортов зерновых культур (пшеница), позволяющие получить урожай зерна 3 кг/м². С повышением температур от 20°C / 17°C до 28°C / 25°C сопровождалось снижением зерновой продуктивности более чем вдвое за счет

снижения числа колосков и цветков в колосе, а также массы 1000 зерен. Несколько иной аспект раскрыт в исследованиях этих авторов по изучению взаимосвязи газообмена и роста растений при двух разных световых режимах (300 и 100 Вт/м²). Доказано, что величина дыхательных затрат находится в прямой зависимости от массы растения. При этом связь между величиной этих затрат и скоростью роста растений непропорциональна в их онтогенезе. В этом восприятии, только у растений в возрасте до 20 дней эта зависимость наиболее приближена к пропорциональности, затем ростовые процессы замедляются и к фазе цветения приближаются на плато при высоком уровне дыхания. Далее, по мнению авторов, наблюдается затухание дыхательной активности и роста. Закономерности хода кривых дыхательных затрат совпадают при разной интенсивности света. По мнению авторов, причиной более низкой продуктивности пшеницы при меньшей облученности является не изменение соотношения фотосинтеза и дыхания, а различия в ростовых процессах, обусловленные разным уровнем снабжения продуктами фиксации CO₂. Пути повышения продуктивности фотосинтетического аппарата, согласно классическим представлениям (Ничипорович, 1988; Мокроносов, 1988; Якушкина, 1993; Ковалев, 1997; Шатилов и др., 2004, 2005; Савич и др., 2010б, 2016; Стасик и др., 2016; Киризий, 2017; Ракутько, 2020), в концентрированном выражении предусматривает создание фотосинтезирующих систем растений (фитоценозов), способных обеспечивать наиболее эффективное усвоение энергии потоков ФАР для обеспечения на формирование продуктов фотосинтеза и оптимальное использование в процессах метаболизма, транспорта, роста, органогенеза с участием небольших количеств азота и минеральных элементов, обеспечивающих, в основном, каталитические регуляторные функции.

В реализации такой концептуальной научной политики в отношении путей усиления интенсивности фотосинтезирующего аппарата и активности пигментов, а также ряда составляющих процесса фотосинтеза исследователи выделяют несколько подходов, которые представлены разными версиями.

Одним из пионерских приемов на протяжении длительного периода вплоть до недавнего времени служило выделение более продуктивных сортов растений на

основе экстенсивного пути продукционного процесса (Мокроносов, 1988; Ковалев, 1997). В этом случае, создавались сорта, на которых размещали все большее количество фотосинтезирующих единиц (хлоропластов, площадь листьев) в ед. объема и площади посева при максимально возможной продолжительности активного фотосинтеза. Как следствие, эти сорта отличались способностью формировать в фитоценозе высокий ассимиляционный потенциал ($\text{м}^2 \cdot \text{сут}$) без усиления активности фотосинтетического аппарата, которая сохранялась на уровне исходных форм. В этой оценке, следует иметь ввиду, положительная взаимосвязь между фотосинтетической продуктивностью и площадью листовой поверхности ограничивается определенными размерами последней (Ковалев, 1997). Так, у зерновых культур этот параметр определяется близким 4-5 $\text{м}^2/\text{м}^2$ посевов, а у сортов с улучшенной формой листа и оптимальным распределением их в пространстве при достаточном уровне питания 6-7 $\text{м}^2/\text{м}^2$ посевов (Ничипорович, 1972; Ковалев, 1986, 1997; Шатилов, Замараев, Чаповская, 1988, 2004; Карашаева, 2018).

Несколько другим подходом, который по мнению целого ряда авторов, позволяет значительно повысить продуктивность фотосинтетического аппарата, а значит и фактический уровень урожая полевых культур, является использование сортов с повышенной продуктивностью фотосинтеза (Ковалев, 1997; Шатилов, 1981; Шатилов и др., 2005; Сычев и др., 2010; Савич и др., 2010а, 2016). По данным авторов, такие сорта культур способны более эффективно использовать солнечную энергию, минеральные элементы питания, водные ресурсы и формировать более высокий урожай при относительно небольшой или неизменной площади листьев. Последнее в аспекте возможных приемов повышения продуктивности фотосинтеза является ключевым параметром. Подобное, согласно современным парадигмам, обусловлено тем, что у таких новых, современных и перспективных сортов, в частности зерновых культур, с уменьшением высоты стеблестоя и фотосинтезирующей поверхности листьев усиливается перемещение продуктов фотосинтеза в генеративные органы, а это в свою очередь способствует лучшему питанию цветков, увеличению процента оплодотворения и завязывания семян и росту продуктивности культур.

В приложении к нашим критическим внешним стресс-факторам именно подобный подход и подбор сортов (гибридов) кормовых культур должен стать одним из определяющих в построении высокопродуктивных технологий с откликом высокой фотосинтетической их активности. Полученные в ходе многолетних исследований попытки такой реализации этих посылов в какой мере для мерзлотных режимов представлены ниже («Результаты исследований»).

По мнению В.М. Ковалева (1997) при использовании более урожайных сортов следует учитывать не только увеличение фотосинтетической активности ценоза, но и стремиться к увеличению единицы площади листа и хлоропласта. В этом подходе, сохраняя максимальный ассимиляционный потенциал (листо - дни), обеспечивается рост продуктивности фотосинтеза и, следовательно, выход продукции. Причем в этом случае, по оценкам автора, следует решить ряд сопутствующих позиций - создание генетически устойчивых сортов и гибридов к абиотическим факторам, распределение продуктов фотосинтеза и их перемещение, структура и форма растения, развитие корневой системы, эффективность использования воды и питательных веществ и т.д.

В этом перспективном рассмотрении, несомненный, научный интерес вызывает чрезвычайно перспективный путь решения - включение C_4 метаболизма и факта практического отсутствия у C_4 видов растений фотодыхания, а возможно какой-то этой части, в полевые культуры с C_3 метаболизмом. В этом случае, в прогнозном сценарии, повышение продуктивности фотосинтеза у растений даже умеренной климатической зоны до уровня наиболее продуктивных тропических и субтропических культур, для которых C_4 тип фотосинтеза, позволил бы поднять их физиологический потенциал до уровня 150 - 200 ц с га зерна (Austin, 1982; Ковалев, 1997; Sage, 2007; Kumar, 2017; Stefanov, 2022).

При реализации этого пути повышения продуктивности фотосинтетического аппарата растений и урожая полевых культур следует иметь ввиду, что характер фотосинтеза - генетически детерминированный признак (Тимирязев, 1957; Вавилов, 1957; Ковалев, 1997). При этом, C_4 тип фотосинтеза у растений широко распространен и часто варьирует в пределах одного таксона, свидетельствуя о

возможной его передачи генетическими и селекционными методами в системы, в которых отсутствует (Bodde, 1982; Насыров, 1982; Зеленский и др., 1986; Бассэм, Бьокенен, 1987; Florkowski, Hill, 1987; Джиффорд, Дженкинс, 1987; Иванищев, 2017; Балаур, 2017).

1.1.3. Ресурсы ФАР при дефиците солнечной инсоляции

Результативность исследований и ограниченного экспериментального материала по изучению фотосинтетической деятельности растений (полевых культур) в специфических условиях достаточно скромная и отражает в своем массиве, в основном, краткосрочные результаты за период последней четверти XX столетия (Расторгуева, 1964; Гаврильев, Угаров, 1973; Павлов, 1975; Ларионова, 1979; Сверлова, 1980; Кононов, 1982; Денисов, Стрельцова, 1983; Сафонов, Стратонович, 1990; Семенова, 1992). Подобные теоретические подходы и попытки научных практик по оценке различных аспектов фотосинтеза (приход ФАР, ЧПФ, площадь листьев и др.) реализованы в основных климатических зонах на мерзлотных почвах для полевых культур и многолетних трав.

Анализ этого разрозненного во времени и пространстве материала подтвердил выраженное воздействие внешних стресс факторов на активность фотосинтеза в лимитированном интервале времени при доминировании холодных ресурсов в системе почва - атмосфера как версия мерзлотного характера процесса с высокими адаптационными ресурсами растений (зеленого листа, хлоропластов и ключевых пигментов) в проявлении максимально возможной фотосинтетической функции (Петров, Перк, Осипова, 2011; Попов и др., 2018).

Специфичность проявления активности фотосинтеза растительными системами в мерзлотных режимах при достаточно скудном ботаническом и растительном составе обусловлена, в первую очередь, ответным откликом растений. Последнее в силу ограниченного освещения при активной солнечной инсоляции в летний период, высокой амплитуды суточных и сезонных температур воздуха и мерзлотных почв, дефицита осадков и доступных минеральных источников питания при тотальном доминировании холодных воздушных масс не позволяет

раскрыть потенциально высокую интенсивность фотосинтетического аппарата растений. Как следствие, технологические приемы возделывания полевых культур на мерзлотных почвах в широком смысле направлены на нивелирование воздействия крайне неблагоприятных внешних стресс условий как лучшая научно-технологическая практика высокой их продуктивности.

В этих типичных условиях арктического региона, согласно данным Р.Х. Ларионовой (1979), в богарных режимах на посевах овса формируется крайне невысокая площадь листьев, величина которой в среднем не превышает 18 тыс. м² на га. При создании по увлажнению оптимальных условий, ассимилирующая поверхность возрастает до 24 тыс. м² с максимальной площадью листового аппарата в диапазоне 23 - 28 тыс. м², вплоть до 30 - 45 тыс. м² на га.

В этом восприятии этих показателей следует иметь ввиду, что, согласно классическим оценкам (Ничипорович, 1966а, 1974, 1978; Рубин и др., 1977; Ковалев, 1997), листовая поверхность посевов близкая к величинам на уровне 40 - 50 тыс. м² на га считается оптимальной и сопровождается более эффективным использованием фотосинтетической активной радиации - ФАР. В этом сравнении площадей можно заключить, что в лучших версиях арктического и субарктического распространения посевов на мерзлотных почвах, даже при создании максимально благоприятных условий для их роста и развития, площадь фотосинтетической их активности намного ниже, а значит и фотосинтезирующий потенциал также ограничен в силу наличия выраженных стрессовых климатических и почвенных режимов. При лучших условиях увлажнения, суммарная мощность фотосинтетического аппарата может достигать величин от 630 до 840 тыс. м². По классическим оценкам А.А. Ничипоровича (1966б) и ряда авторов уровень теоретически возможных величин этого параметра гораздо выше (5 - 6 млн. м² дней).

По результатам полевых исследований (Ларионова, 1979), активность фотосинтетического аппарата растений в богарных условиях мерзлотных почв низкая и составляет 1.4 - 1.7 г на м² в сутки. В случаях внесения минеральных удобрений показатели чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) повышаются на

2% при пониженных и на 3.4 - 3.6% при повышенных фонах удобрений при орошении посевов. По мнению автора, в стандартных условиях этого мерзлотного региона России, используя ключевые агротехнологические приемы (орошение и удобрение), повышение урожайности обеспечивается за счет увеличения чистой продуктивности фотосинтеза и площади листового аппарата и как следствие - повышение фотосинтетического потенциала посевов.

Режим поступления фотосинтетической активной радиации (ФАР) для этого мерзлотного региона имеет несомненную значимость в получении продукции, а показатель к.п.д ФАР (%) выступает критерием усвоения прямой и рассеянной радиации, определяя в конечном итоге потенциал продуктивности культур. Совокупность этих двух важнейших параметров является базовой при обосновании урожаев различных уровней (п/раздел 1.3.1).

Пионерские работы по изучению вопросов, связанных с первыми попытками оценить распределение ФАР и использование растениями с разной биологией по основным зонам этого региона представлены в исследованиях ряда авторов (Павлов, 1975; Гаврильев, 1975; Кононов, 1982; Денисов, Стрельцова, 1983). При этом, различия авторов в оценках поступления ФАР ($\text{ккал}/\text{см}^2$) оказались незначительными и не оказали существенного влияния на суммарную величину поступления в течение вегетационного сезона.

По данным Т.Н. Семеновой (1992) величина поступления ФАР по центральной зоне Якутии оказалась сопоставимой с фактически измеренными в пойме р. Лена (Кононов, 1982) и в долине р. Вилюй (Денисов, Стрельцов, 1983). Так, за период июнь месяц суммарный приход ФАР в первом случае составил 7.8 - 8.4 $\text{ккал} / \text{см}^2$ и в последнем случае 6.5 - 8.6 $\text{ккал} / \text{см}^2$.

В работах ряда исследований, авторы выделяют несколько тесно связанных парных зависимостей изучаемых признаков относительно поступления ФАР в пределах арктических территорий, в частности - сопряженность поступления ФАР с температурами воздуха. Согласно расчетов и сопутствующим оценкам (Семенова, 1992) интенсивность ФАР в северных районах Якутии составляет 12449 ... 14920 ккал , центральных - 24679 ... 29069 ккал и южных - 21034 ... 24323 $\text{ккал} /$

см². Соответственно такому гео- позиционированию, интенсивность поступления ФАР за вегетационный период составило в северных районах в 2.7 - 2.3 раза, центральных - в 1.7 - 1.5 раза и южных в 1.6 - 1.4 раза ниже, чем в Бурятии, Забайкалье и Хабаровском крае. По мнению авторов, подобное связано с различиями в продолжительности вегетационного периода, который в мерзлотных режимах Арктики и Субарктики значительно короче в силу объективного разного географического позиционирования.

Приход ФАР по различным гео- привязкам (зона М) Республики Саха (Якутия) с разным проявлением стресс условий представлены в таблице 3. Для этого региона характерно активное поступление ФАР весной (апрель - май) и летом (июнь - июль) с резким падением в осенний и зимний период (табл. 3).

Таблица 3 - Поступление фотосинтетически активной радиации (ФАР) по основным географическим зонам Республики Саха (Якутия), ккал / см²

янв	фев	март	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек
0.49	1.43	3.77	5.83	6.69	7.32	7.06	5.17	3.27	1.73	0.69	0.00
0.79	1.87	4.37	6.37	7.37	7.32	6.80	6.94	3.48	2.23	0.97	0.49
0.00	0.64	2.70	5.54	7.77	7.23	7.03	4.47	2.38	1.08	0.00	0.00

Примечание. Первая строчка г. Якутск; вторая - г. Алдан; третья - г. Оленек

При этом, независимо от различий в приходе ФАР по северной (г. Оленек), центральной (г. Якутск) и южной (г. Алдан) части этого региона, наибольшая доля его прихода наблюдается в период май - июнь. Именно в этот период зафиксировано максимум прихода ФАР этого мерзлотного региона. В этом анализе цифровых показателей, южная часть отличается более пролонгированным во времени поступлением ФАР (март - сентябрь) и очень усеченном во времени поступления в северной части (апрель - август) при полном отсутствии в течение трех зимних месяцев (ноябрь - декабрь и январь).

В соответствии с этим потоком поступления ФАР на территории региона по основным климатическим и агропроизводственным зонам следует производить необходимые агротехнологические работы с корректировкой на максимальный

эффект от специфики поступления солнечной энергии в зональном аспекте для формирования урожая полевых культур. Именно этот факт в мерзлотных режимах региона может стать определяющим критерием в усилиях по достижению наибольшего эффекта в земледелии и растениеводстве и значительно снизить риски в получении продукции.

Соответственно поступлению ФАР определенные фактологические зависимости выявлены с показателями температурного режима, которые отражают в совокупном проявлении и сумму активных температур воздуха (табл. 4).

Таблица 4 - Некоторые характеристики температурного режима и ФАР

Дата перехода температур через 5 °С		Сумма температур $\Sigma \geq 5$ °С		Дата перехода температур через 10 °С		Сумма температур $\Sigma \geq 10$ °С	
весна	осень	Σ °С	ФАР, ккал / см ²	весна	осень	Σ °С	ФАР, ккал / см ²
13.V	19.IX	1795	29069.9	28.V	3.IX	1565	25343.9
15.V	18.IX	1674	27109.7	30.V	39.VIII	1434	23221.7

Примечание. Верхняя строка г. Якутск; нижняя строка г. Покровск

В этом представлении (табл. 4), помимо величин ФАР, несомненный практический интерес вызывает расклад суммы активных температур ($\Sigma \geq 10$ °С), показатели которой позволяют контролировать продукционный процесс растений (полевых культур) как необходимая практика в реализации их потенциала. Причем, в наименее континентальной части региона, показатель суммы находится в пределах календарных дат с 28 мая по 3 сентября, не превышающий 1565 °С.

1.2. Криорезистентность и кинетика роста растений

В линейке целой гаммы климатических, почвенных и растительных признаков, рост растений, наряду с фотосинтезом, является важнейшей составляющей продукционного процесса (Вавилов, 1940; Прянишников, 1953; Тимирязев, 1957; Шатилов, 1982; Ничипорович, 1972, 1988; Шевелуха, 1992; Кшникаткин, 2015; Амелин, 2016). При этом, вновь сформированные пластические

вещества в процессе фотосинтеза и накопленные энергетические ресурсы соединений активно трансформируется в последующем на рост растений. Помимо этого, при непосредственном участии этих энерго-насыщенных органических соединений самого растения на всех этапах фото-физического, фото-химического и фото-ферментативного проявления происходит синтез стимуляторов и ингибиторов роста, которые активно принимают участие в первичных механизмах роста, дифференциации растительных тканей и других физиологических и морфо-биохимических процессах (Кефели, 1994; Ковалев, 1997 Чебакова, 2014). В результате этого комплекса взаимодействий и трансформаций, по оценкам авторов, обеспечивается реализация уникальной генетической программы развития растительного организма.

В этом восприятии, по оценкам В.М. Ковалева (1997) и рядом авторов, потенциал генотипа реализуется в целом спектре морфо-, био- и эко- фенотипах, определяющих важнейшие особенности, механизмы и результаты взаимодействия растений со средой и их энерго- и массо- обмен (Шатилов и др., 2004, 2005; Духанин и др., 2006; Савич и др., 2007, 2010б; Гамзиков, 2010; Ксенз, 2020).

По мнению А.А. Ничипорович (1988) на этой платформе формируется, в конечном результате, адаптивная функция растений, важнейшей особенностью которой является способность приспосабливаться к наилучшему использованию ярко выраженной периодичности (суточной, сезонной, годовой) и широтного распределения ключевых внешних факторов, в т.ч. стресс- условий, как солнечная радиация, температурных режим, увлажнение и спектр сопутствующих параметров, в т.ч. и экстремальных их проявлений с разным откликом во времени и пространстве (Завалин, Соколов, 2016; Будажапов, 2019б).

В отношении роста растений, согласно Д.А. Сабинина (1963), следует выделять макро- и микро- ритмы, каждый из которых отражает определенный уровень оценок. Автор выделяет макро-ритмы роста, выражаемые кривой большого роста (S - образная кривая или кривая Сакса) и микро- ритмы, проявляющиеся на клеточном уровне. По мнению ученого, под понятием роста растений следует понимать процессы новообразования элементов структуры

организма, к которым относятся органы, клетки и части клеток, а также субмикроскопические компоненты протоплазматических структур до макромолекул включительно.

Более развернутое и детализированное восприятие определения роста растений представлено В.С. Шевелуха (1992), который рассматривал этот процесс как «... дифференцировка структуры организма за счет образования новых и увеличения старых его элементов (молекул, органелл, клеток, тканей и органов), оказывающих влияние на распределение, перераспределение и использование образующихся при фотосинтезе и метаболизме органических веществ, поглощенных минеральных солей и воды, идущих на образование новых органов и тканей, их регенерацию и на запасные отложения...». При всей полноте этих определений, современная интерпретация ростовых процессов растений предполагает формирование баз данных с последующей цифровизацией макро-, микро- и нано- моментов с визуализацией и интерпретацией прогнозных сценариев на основе математического моделирования и создания алгоритмов построения роста растений для разных условий и режимов.

1.2.1. Критерии оценки ростовых процессов в онтогенезе

На основании анализа и обобщения многолетних экспериментальных данных по вопросам роста растений сформулированы основные особенности ростовых процессов как научная платформа по дифференциации понятий роста (Шевелуха, 1992) в качестве классической. В этом смысле, автор выделил 11 особенностей ростовых процессов (критерии), которые являются наиболее общими и проявляются на всех уровнях организации растительных систем.

1. Интегральность роста, отражающая физиологическое состояние растений в целом, через которое реализуются наследственные возможности формирования органов, анатомических и морфологических структур, выражающая характеристику роста высокоинформативной, особенно в части адаптивных возможностей растений практически на всех этапах онтогенеза;

2. Параболический ход изменения интегральных показателей роста растений и органов в онтогенезе, характер которой подчиняется S - образной кривой как общий закон роста, который распределяется на все биологические объекты и системы и определяет основную количественную его характеристику;

3. Генетическая, гормональная и экологическая обусловленность (детерминированность) интенсивности, масштабности, пространственной локализации и направленности роста выражается зависимостью его показателей от внутренних факторов развития и условий произрастания растений;

4. Высокая чувствительность ростовых процессов к колебаниям внешних и внутренних элементов погоды, физических полей, физиолого-биохимических и биоэлектрических потенциалов и градиентов в растениях. Это свойство сложной природы роста отражает большие адаптивные возможности растений к меняющимся условиям среды и может с успехом использоваться.

5. Большая лабильность, подвижность основных показателей роста растений обусловлена его высокой чувствительностью к колебаниям внешних условий и внутренних факторов;

6. Широкий диапазон приспособительных реакций, которое обусловлено наследственными биофизическими и биохимическими особенностями клеток, обеспечивающими протекание процессов жизнедеятельности, в т.ч. и роста, в границах температур, световых и других условий для каждого вида растений;

7. Определенная локализация и последовательность ростовых процессов во времени и пространстве, которые определяются каскадным характером генной регуляции, наблюдаются в растениях, ценозах, во всех климатических зонах земного шара. Это процессы, обусловленные наследственной программой организма, сочетанием внешних и внутренних факторов, климатическими особенностями географических поясов;

8. Саморегуляция роста четко проявляется: а). возрастной изменчивости, масштабности, интенсивности, направленности и локализации; б). в законе большого периода роста растений и органов; в). в эндогенной, суточной и пульсирующей периодичности и ритмичности; г). в способности растений

сравнительно быстро восстанавливать нарушенный влиянием колебаний различных факторов уровень ростовых процессов;

9. Неравномерность временного хода, периодичность и аperiodичность роста проявляется в изменениях показателей интенсивности роста во времени, которые обусловлены генетически закрепленной эволюционной приспособленностью к сезонным, суточным, часовым и микро- временными периодами. Экзогенные колебания регулируются внешними факторами среды, эндогенные - «биологическими часами», интенсивностью нуклеинового и белкового синтеза, активностью ферментных систем, фитогормонов и др. метаболитов;

10. Регуляторная функция роста в онтогенезе и морфогенезе растений проявляется во влиянии на скорость и направление метаболических процессов синтеза, распада, передвижения и отложения органических соединений и других веществ, их перераспределении и реутилизации;

11. Высокая степень корреляции показателей роста с параметрами продукционного процесса и хода формирования урожая посевами.

По мнению автора (Шевелуха, 1992) эти критерии по особенностям оценки ростовых процессов проявляются на всех уровнях роста - молекулярном, генетическом, организменном, популяционно-видовом и биосферном.

1.2.2. Внешняя и внутренняя регуляции роста растений

Анализ обширного теоретического материала, противоречивых предположений и практических результатов в многолетних наблюдениях с широким реестром полевых, кормовых, технических и др. культур различных территорий и геопривязок позволяет заключить ряд определяющих рост параметров (Батыгин, 1995; Ковалев, 1997; Головацкая, 2018), которые в совокупном резюмировании отражают наиболее характерные и общие закономерности в отношении роста и развития растений.

В этом понимании, рост и развитие растений в онтогенезе определяются как морфофизиологические процессы с характерными морфометрическими прояв-

лениями, которые тесно связаны и в ходе развития проявляются различные количественные и качественные характеристики на уровне клетки, тканей и органов. При этом, доказанная их дифференциация наблюдается в целой серии «горизонтальных и вертикальных» характеристик и параметров растений, которые регулируются генетически детерминированными позициями и обеспечиваются откликом на воздействие внешних и внутренних факторов. Последние детально раскрыты ранее. И если ранее, по мнению ряда авторов, вопрос вокруг этого процесса имел дискуссионный характер в отношении понятия «рост растений», то в настоящее время достаточно в полной мере существует устойчивое понимание этих изменений во времени. С позиций системного подхода, по оценкам исследователей, растительный организм, как, впрочем, и любой живой, представляет открытую, неравновесную саморегулирующую и саморазвивающуюся систему, способную к самовоспроизведению (Ковалев, 1997; Кузнецов, 2020). При этом, авторы единодушно выделяют сложный комплекс составляющих элементов, которые тесно связаны и сопряжены друг с другом и выполняют определенные функции по генетически заданной системе. Последняя в этом смысле как открытая система, по оценкам ряда исследователей согласно фундаментальным законам термодинамики, существует пока осуществляется обмен веществ и энергией (Шатилов и др., 2004, 2005; Савич и др., 2010а; Гамзиков, 2013; Тишевская, 2016; Будажапов, 2019б; Хараху, 2019).

В этом проявлении растительный организм, согласно оценкам В.В. Полевого (1989) и ряда авторов, представлен тремя уровнями взаимодействия систем регуляции для сохранения и поддержания целостности этого организма в виде: внутриклеточный (метаболическая, генетическая и мембранная регуляция), межклеточный (гормональная, электро-физиологическая, трофическая регуляция) и организменный (доминирующие центры, полярность, канализированные связи, осцилляция и регуляторные контуры).

Внутриклеточный уровень регуляции, по результатам фундаментальных исследований, определяется различными составляющими, которые включают три сопряженных механизма как метаболическая регуляция или регуляция активности

ферментов, генетическая и мембранная регуляция (Либберт, 1976; Калашников, Ковалев, 1995).

Метаболическая регуляция или регуляция активности ферментов определяется, по мнению авторов, активностью ферментов, которая в свою очередь зависит от физико - химических условий среды, концентрации субстрата и конечных продуктов реакции, значений pH, ионной силы, окислительно-восстановительного потенциала, изменений содержания коферментов (НАД, НАДФ и др.) и кофакторов (ионов металлов). В процессе целой цепи биохимических реакций происходит модификация ферментов и изменение их активности.

Генетическая регуляция определяет характер процессов роста и развития, соотношение которых обусловлено генетическими предпосылками и факторами, обеспечивающих их протекание. При этом, согласно оценкам авторов, тип развития растения определяется индивидуальной первичной программой, заложенной в генетическом коде. В этом механизме регуляции физиологическая функция генов заключается в передаче информации клетке через матричную рибонуклеиновую кислоту (м РНК) и ферменты. Причем, по оценкам исследователей, в этом случае никогда не происходит одновременной передачи всей информации, т.е. не синтезируются одновременно все потенциально возможные ферменты. Отсюда, существуют одновременно активные продуцирующие РНК и неактивные гены. По Э. Либберт (1976) и коллег (Ковалев, 1997), благодаря этому типу генной регуляции, наблюдается активация генов (индукция) и инактивация (регрессия). В этом восприятии, рост и развитие растений в этом понимании представляют собой процесс, связанный с избирательной экспрессией генов, согласно которой активность определенных групп генов регулирует синтез ферментов и др. белков, характерных для специализированных клеток. Именно этот механизм получил название теории дифференциальной активности генов (Ковалев, 1997). Мембранная регуляция, по общему мнению авторов, регулируется функциями мембран на внутриклеточном уровне, которые представлены в виде барьерных, транспортных, осмотических, электрических, структурных, энергетических, биосинтетических, рецепторно-

регуляторных и других (Полевой, 1989; Ковалев, 1997). По их оценкам, столь многообразная роль мембранной регуляции обусловлена мобильной их структурой - прежде всего, с последующим формированием целой серии структурно-гидрофобных связей - в частности, и благодаря наличию в их составе хемо-, фото- и механо-рецепторов белковой природы с чувствительной воздействию химических и физических факторов. При этом, этот тип регуляции обеспечивается ионных насосов - H^+ помп, функционирующие на базе мембранных H^+ -АТФаз.

Межклеточный уровень регуляции роста растений обусловлен целой серией воздействий и связей, в реестре которых гормональная регуляция представлена фитогормонами, которые синтезируются в растениях, транспортируются по ним в малых концентрациях и способны вызывать ростовые или формативные эффекты (Ковалев, 1997).

Выделяют три особенности этих фитогормонов. Первая - изменения в интенсивности синтеза, вызванное внешними или внутренними причинами вызывает ответную реакцию растения - переход к другому характеру ростовых процессов. Вторая - транспортировка фитогормонов по растению с регуляцией ростовых процессов других органах, вследствие которых достигается их взаимодействие и целостность растения. И третья - в малых концентрациях ($10^{-12} \dots 10^{-7}$) способность вызывать заметные ростовые и формативные эффекты, например - ускорение или замедление роста стебля и дефолиация соответственно.

По единодушным оценкам авторов, гормональная регуляция детерминируется генотипом, оказывает на него существенное влияние и вместе с генетической регуляцией составляет основу генного контроля при реализации наследственной программы. Усиливая или ослабляя рост, развитие и др. процессы, эти системы во взаимодействии с экологическими и др. факторами среды определяют тип морфогенеза, структуру, продуктивность и адаптацию растений (Шевелуха, 1992; Кефели и др., 1994; Ковалев, 1997).

Причем, фитогормоны участвуют в регуляции обмена веществ на всех этапах жизни растений - от развития зародыша до полного завершения жизненного цикла и отмирания. Их участие определяет характер роста и развития растений,

формирование новых органов, габитуса, цветения, старения вегетативных частей, перехода к покою и выход из состояния последнего и т.п. Организменный уровень регуляции предопределяется тесным взаимодействием всех частей растений с централизацией управления ростом растений. В этой регуляции выделяют доминирующие центры, канализированные связи, свойство полярности и ряд необходимых функций для полноценного роста.

Таким образом, на детальном анализе литературных источников можно заключить, что на основе оценки эндогенных систем регуляции роста растений необходимо управление питанием, орошением, стимуляторами роста и ретардантов, физических факторов и др. для регуляции процессов роста, морфогенеза, фотосинтеза и водного обмена, а также донорно-акцепторных реакций.

1.2.3. Математические модели в оценке роста растений

Классический современный уровень математического анализа результатов краткосрочных, многолетних и длительных наблюдений, а равно математического моделирования с формированием определенных количественных баз данных, в частности - по изменению высоты растений (h) в процессе ростовых изменений во времени (t) и прохождению фенологических фаз (этапов) развития растений в онтогенезе позволяет выстроить регрессионные функции или модели, которые могут выступать в качестве прогнозных в оценке их роста и развития в конкретных условиях под воздействием внешних и внутренних факторов, в т.ч. и критических - холод и мерзлота, аридность и засуха и т.п.

Прежде чем приступить к попыткам построения адекватных математических моделей роста и развития растений необходимо, согласно общепринятых мнений (Витковская, 2014; Будажапов, 2014; Сукиасян, 2016), знать исходные характеристики по оценке фенологических фаз развития растений. Последние представлены несколькими версиями (шкалы), которые имеют разные критерии (табл. 5).

В некоторых странах активно используется шкала, основанная на оценке фенологического состояния растений и посевов (Feekes, 1941; Smierzchalski, 1980).

Однако, такая версия не совсем удобная при построении математических моделей, т.к. оцифровка этапов роста и развития растений очень детализирована вплоть до десятых долей по конкретным фазам (табл.5).

Таблица 5 - Системы классификации фаз развития злаковых растений

Фаза развития растений		Feekes (1941)	Janossy (1974)	Куперман (1973)
1.	Прорастание	0	00 - 09	-
2.	Всходы	1	10 - 13	I
3.	Начало кущения	2	21	II
4.	Средина кущения	3	22 - 28	II - III
5.	Конец кущения	4	29	III - IV
6.	Начало выхода в трубку	5	30	IV - V
7.	I узел	6	31	VI
8.	II узел	7	32	
9.	Верхняя листовая пластина	8	37 - 38	VII
10.	Колошение 3/4 колоса	10.4	56 - 57	VIII
11.	Начало цветения	10.51	60 - 63	IX
12.	Начало формирования зерновки	10.54	69 - 70	IX - X
13.	Ранняя молочная спелость	-	70 - 72	X
14.	Молочная спелость	11.1	73 - 79	XI
15.	Молочно-восковая спелость	11.2	80 - 86	XII
16.	Уборочная спелость	11.3	90 - 91	-
17.	Полная спелость	11.4	92 - 99	-

При проведении селекционных исследований в некоторых случаях активно применяют версию по оценке этапов роста и развития растений, в которой десять фаз имеют цифровую индикацию от 0 до 9: 0 - прорастание, 1 - рост проростков, 2 - кущение, 3 - выход в трубку, 4 - набухание листового влагалища, 5 - колошение, 6 - цветение, 7 - молочная спелость, 8 - восковая спелость, 9 - полная спелость. При

этом, каждая основная фаза разделена на подфазы, закодированные от 00 - 99 с регистрацией наступления фенофаз 50 -75% растений в посевах.

В Российской Федерации и некоторых странах ближнего зарубежья используют шкалу органогенеза, разработанную Ф.М. Куперман (1973), в которой условное деление на 12 этапов (I - XII) осуществляется на основе дифференциации конуса нарастания побегов. (табл. 5). Соответственно этому, попытки построения математических моделей с применением этой версии этапов роста и развития растений, по нашему мнению, является наиболее адекватной. В наиболее общем виде, теоретическим посылом к реализации кинетических характеристик роста растений в качестве скоростных параметров их роста служит практика подобных подходов, выдвинутая ранее Л.В. Будажаповым (2009) и реализованная в последующих практиках по характеристике кинетических параметров процессов трансформации азота в системе почва - растение (Будажапов, 2019а; Будажапов, Уланов, 2021; Будажапов и др., 2021, 2022, 2023). По аналогии с этим концептуальным подходом, попытки реализовать кинетические характеристики при оценке ростовых процессов растений в онтогенезе растений представляется вполне обоснованным. Существует достаточно обоснованная мотивация на некоторую корректировку этой оценки, которая связана с выраженной криорезистентностью растений в мерзлотных режимах.

В наиболее развернутом определении эта характеристика представлена в обширном и детализированном обобщении на примере собственных исследований и анализе данных отечественных и зарубежных авторов (Петров, Перк, Осипова, 2011). По оценкам этих авторов, криорезистентность предполагает суммарный, а точнее интегрированный, эффект противостояния растений к крайне неблагоприятным, а точнее критическим, для них факторам внешней среды - стрессовые характеристики температурного, водного и светового режима (стресс-факторы). В ряду последних отметим наиболее ключевые - низкие показатели и амплитуда температур в суточном, сезонном и годовом цикле, дефицит воды при наличии многолетней мерзлоты в профиле почв, доминирование холодных воздушных масс и дефицит тепловых ресурсов в системе почва - растение и др. При

этом, в характеристике почвенных режимов также следует выделить крайне специфические параметры функционирования - термокарстовые воронки, отрицательные формы рельефа (аласы), крио- солифлюкция, морозобойные трещины и постоянное доминирование холодных температурных масс в почвенном профиле с широкой их амплитудой.

В этой панораме постоянного доминирования критических для роста растений факторов последовательно выделены и раскрыты механизмы стресса и криорезистентности растений. В этом массивном обобщении авторы детально отмечают наличие у растений трех последовательных фаз развития и отклика на стрессовые реакции в виде классической «триада»: тревоги, адаптации и истощения (Петров и др., 2011). По мнению других авторов (Полевой, 1989) эти позиции трансформируются в иные их определения как «первичная стрессовая ситуация», адаптация и истощение ресурсов надежности соответственно. При этом, как отмечают авторы, во время «переключения» обмена веществ на новый режим функционирования под воздействием стрессов резервные возможности растительного организма объединяются наличием систем регуляции.

Последние имеют принципиально важное и определяющее значение. Характер проявления и механизмы этих регуляций рассмотрены ранее (см. п/раздел 1.2.2.), которые включают в совокупном проявлении отклика на подобные проявления в формате внутриклеточной (метаболическая, генетическая и мембранная регуляция), межклеточной (гормональная, электро-физиологическая, трофическая регуляция) и организменной регуляции (доминирующие центры, полярность, канализированные связи, осцилляция и регуляторные контуры). Согласно оценкам, наличие уникальных систем регуляции рассматривается как механизмы роста при адекватном формировании криорезистентности растений в зависимости от воздействий внешних стрессов и их отклика. Помимо этого, следует иметь в виду некоторые дополнительные параметры и механизмы, которые также в совокупном проявлении отражают и формируют криорезистентность растений в этих мерзлотных режимах.

В реестре таковых следует выделить, согласно оценкам авторов, снижение надежности организма растений, закаливание и адаптация к стрессору и устойчивость его составляющих через сложнейшие механизмы обмена энергией, веществом и информацией, подчиняясь в этом проявлении фундаментальным законам термодинамики и принципу Ле-Шателье (Шатилов и др., 2004; Замараев и др., 2005; Савич и др., 2010а; Ступин, 2020; Хохлова, 2021; Mazirov, 2023). При всей значимости этих механизмов устойчивости и сопряженности процессов, в реалиях низких и очень низких температур, доминировании холодных масс и высоких амплитудных гидротермических режимах растения постоянно адаптированы и устойчивы к стрессовым явлениям, которые определяются в формате холодостойкости, морозоустойчивости и зимостойкости. В этом построении оценок, наиболее полный и развернутый материал представлен работами ряда авторов. По каждому параметру устойчивости представлены оценки по механизмам проявлений с позиций глубоких биохимических превращений и морфофизиологических реакций как единая уникальная платформа в этом рассмотрении. По механизму морозоустойчивости растений, авторы выделяют наличие специфического их отклика в виде трансформации сульфгидрильных групп (-SH-) мембранных белков при окислении превращаются в дисульфидные (-S-S-). Причем, при нормальных температурах промежутки между молекулами белка заполнены водой, которая препятствует сближению сульфгидрильных групп (-SH-) молекул белка и образованию между ними дисульфидных (-S-S-) мостиков. Под влиянием низких температур происходит частичное обезвоживание цитоплазмы и сближение белковых глобул с возникновением дисульфидных мостиков, которые устойчивы и не могут быть «разорваны». Как следствие, наблюдается денатурация белков. В выработке механизмов крио-резистентности важную роль отводится также наличию, накоплению и выработке крио-протекторов, веществ, образующихся в результате процесса фотосинтеза. Среди этих соединений отметим обширную группу углеводов (триозы, тетрозы, пентозы и гексозы), а также липиды, ненасыщенные жирные кислоты, роль которых в низкотемпературной адаптации, по оценкам авторов, незаменима и имеет

исключительную значимость. На фоне постоянного присутствия критических для роста и развития растений стресс условий, выявление кинетических характеристик их роста служит едва ли не определяющим показателем развития, как и разные прогнозные сценарии, которые могут быть реализованы на практике. Подобное выражается кинетическими константами (k), которые отражают характер и количественные изменения ростовых процессов растений во времени. Более детальная характеристика этой оценки и интерпретации констант (k) представлена в разделе «Условия, объекты и методика исследований» и «Результаты исследований».

1.3. Нивелирование рисков возделывания и урожай полевых культур

Получение практически любой продукции полевых культур как результат их возделывания в мерзлотных режимах этого региона повсеместно сопряжено с технологическими, экономическими и инфраструктурными рисками в связи с общепризнанным дефицитом тепловых ресурсов и постоянным наличием холода в массивном пролонгированном проявлении во времени и пространстве. При этом, период активной вегетации полевых культур чрезвычайно ограничен в полевом сезонном цикле (июнь - август) с выраженным дефицитом осадков (по выборочной средней 212.8 ± 27.1 мм), которые в совокупном проявлении формируют пакет объективных рисков возделывания практически всех, за редким исключением, культур. Как результат, урожай яр. зерновых в среднем ($n = 27$) составляет 7.28 ± 2.1 ц/га, картофеля - 128 ± 33.1 ц/га, сена многолетних (естественных) трав - 41.2 ± 0.8 ц/га и зеленой массы сочных кормов (силос) - 72.4 ± 11.3 ц/га. Отсюда, в случае приоритетного прорывного развития земледелия и полевого кормопроизводства на мерзлотных почвах региона требуется, главным образом, научно - технологическое обоснование потенциала сельскохозяйственных культур с учетом снижения агротехнологических рисков с повышением конкурентной способности продукции кормов на рынке. В реализации подобных обоснований существует масса фактологических и формализованных критериев и подходов, которые в определенной мере позволяют выявить вероятностный уровень ожидания

продуктивности возделываемых культур с возможным или определенным диапазоном величин их урожая при соблюдении минимальных или базовых агротехнологий возделывания без гарантий постоянной доходности («маржа») и возрастающих рисков в случае неопределенного расширения площадей посева, применения не апробированных технологических приемов обработки почв и технологий посева и ухода как крайне рискованное вложение ресурсов (экономических, технических, финансовых, людских) при дефиците времени и кредите доверия. В этом доверительном восприятии и стремлении снизить риски возделывания культур, одним из действенных и реальных подходов к обоснованию их урожая при условии лимитирования конкретным признаком с последовательной разработкой критериев по снижению издержек в получении продукции выступает концепция, разработанная И.С. Шатиловым (1982) и реализованная и расширенная позднее последователями - учениками (Каюмов, 1986, 1989а), в т.ч. Сибири и Дальнем Востоке. По сути, в этом подходе заложено наиболее объективное решение по обоснованию возможностей введения в оборот земледелия и растениеводства конкретной культуры непосредственно в производство с учетом целого ряда лимитирующих признаков (Каюмов, 1989б).

В ряду последних, характер их проявления служит критерием по обоснованию урожаев различных уровней, которые в последовательном расчетном определении величин позволяют реально оценить потенциал культуры в мерзлотных условиях при наличии критических для растений абиотических стресс факторов. По нашему мнению, именно этот подход к обоснованию выхода продукции с учетом рискованных издержек позволяет адекватно обосновать вопросы перспективного развития растениеводства на мерзлотных почвах, в т.ч за счет введения новых и перспективных однолетних культур, высокая продуктивность которых общепризнана (Вавилов, 1982; Посыпанов, 1987; Кашеваров, 2007; Панюков, 2017; Асеева, 2020; Будажапов, 2022; Владимиров, 2023; Debruch, 1978; Dill, 1979; Canned, 1979).

Построение независимой оценки по урожаю полевых культур в конкретных условиях в принципиальном решении, согласно рекомендациям и результатам М.К.

Каюмова (1989а), базируется на определении различных уровней урожаев - потенциального (ПУ), действительно возможного (ДВУ) и реального уровня урожая (УП), исходя в каждом конкретном случае, из основного в рассматриваемых условиях лимитирующего фактора. Последовательность этих обоснований строится на расчетных решениях каждого уровня урожая (Каюмов, 1989а; Будажапов, 2005). Более детальные определения и формулы расчетов, а также суть определения каждого уровня урожаев детально отражена в разделе «Объекты, методы и условия» (Глава 2). В конечном итоге, последовательное опровержение, а равно обоснование потенциального и реального уровня урожая предполагаемых к внедрению полевых культур позволяет выявить величину их урожая с учетом наличия лимитирующих условий и факторов в конкретном гео-контуре. По итогам расчетных обоснований реализуется верификационные решения и экспертиза обоснованности в полевых производственных режимах.

Согласно И.С. Шатилова (1982), М.К. Каюмова (1989) и ряда других авторов, при построении такого подхода выделяют теоретический и производственный или технологический уровень урожаев, в каждом из которых выделяют ряд характерных объективных критериев - параметров, по которым вычленяется спектр условий, лимитирующих получения продукции как основание для последующих технологических решений. В блоке теоретического уровня урожаев (Шатилов, 1982; Каюмов, 1989б) выделяют следующие уровни и составляющие такого подхода: потенциальный урожай (ПУ) и действительно возможный урожай (ДВУ), величина которых в содержательном понимании характеризует максимальные и ожидаемые урожаи предполагаемой культуры. При этом, в первом случае расчеты опираются на величину поступления ФАР (Кдж/см^2) и к.п.д. (%) использования ФАР растениями, а во втором - с учетом дефицита тепловых ресурсов и температурного режима конкретной местности ($\text{ДВУ}_\text{т}$), а также ожидаемых издержек по состоянию водного режима и осадков ($\text{ДВУ}_\text{в}$). В блоке технологических урожаев или урожаев в производственных условиях детализируются урожаи с учетом, серии сдерживающих факторов и условий, характер проявления которых в разной степени сопровождается снижением

величин урожая последовательно в зависимости от плодородия почв и сопутствующих условий (экспозиция участка или поля, семенной материал, техническая оснащенность и агротехника, организационные мероприятия, кадровые ресурсы и пр. пр.).

Совокупность расчетных теоретических оценок в первом блоке и корректировка этих урожаев к конкретным условиям производства во втором блоке составляют единое научно-технологическое обоснование по введению новых и перспективных культур в земледелии этого мерзлотного региона. Ранее подобные подходы к построению такого обоснования отсутствовали и имели, как правило, в большинстве субъективное мнение и фактологическое понимание возможностей. В большинстве своем последние опирались на многолетнюю практику местных укладов и традиций в получении продукции растений.

Однако, по новым и перспективным полевым культурам подобные оценки априори сопровождаются определенным консерватизмом восприятия и приводят к не адекватным технологическим решениям и как следствие - результатам (Попов, 1987; Бойнов, 2007; Павлова, 2022). В реалиях северного мерзлотного земледелия (Бойнов, 2007; Павлова, 2022; Будажапов и др., 2023) при доминировании целого пакета мерзлотных характеристик, агротехнологические риски возрастают значительно в сравнении с сопряженными криоаридными и криогенными условиями др. граничащих регионов (северная часть Бурятии, Забайкальского края, Иркутской и Амурской области и на северо-востоке - Магаданская область и Чукотка).

В соответствии с наличием выраженных специфических абиотических стресс - факторов, которые оказывают существенное влияние на весь комплекс агротехнологических операций по возделыванию полевых культур, в т.ч. однолетних кормовых теплолюбивых культур, в мерзлотном земледелии необходимо обосновать, разработать и реализовать ряд ключевых схем по снижению и нивелированию этих критических для растений условий для получения наибольшего выхода продукции. В этом понимании, по-нашему мнению, эти мероприятия, начиная с усиления активации фотосинтетической

активности растений и вплоть до уборки, должны позволить снизить или нивелировать эти крайне неблагоприятные для посевов режимы холода, мерзлоты и дефицита тепла. В этом понимании, конкретные мероприятия и достигнутые позитивные результаты детально представлены в серии многолетних исследований (раздел «Результаты исследований»).

Современные парадигмы формирования урожая полевых культур в мерзлотных режимах региона представляют комплексный научный и научно - технологический ресурс, который направлен на значительное снижение критического воздействия абиотических стресс факторов и позволяет выработать мероприятия по нивелированию технологических и экономических рисков их возделывания и на этой основе обосновать возможности ведения высокопродуктивного земледелия и с гарантированным выходом конкурентной продукции на товарном рынке северного земледелия.

В реестре целого массива перспективных оценок и взглядов, приоритетным, прежде всего, является разработка приемов, направленных на активацию фотосинтетической деятельности и увеличение энергетического статуса растений с возможным, как следствие, повышением коэффициента полезного действия (к.п.д.) по использованию ФАР за счет варьирования сроков посева, активного привлечения веществ по регуляции и ингибированию ростовых процессов с ускоренным формированием мощной вегетативной массы, адресного внесения минеральных удобрений с пролонгированным эффектом в сочетании с высокоэффективным вегетационным орошением, особенно в критический период роста и развития растений, и обоснованием прогнозных и ожидаемых урожаев полевых культур на мерзлотных почвах.

В этом восприятии оценок достаточно огромного массива литературных данных как в классическом восприятии, так и перспективных результатов, значимость последних в снижении рисков роста и развития растений представляется приоритетным.

ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на территории Центральной агроклиматической зоны на опорном полигоне Якутского научно-исследовательского института сельского хозяйства г. Покровск, Хангаласского улуса Республики Саха (Якутия) и отражали типичную панораму жестких мерзлотных эколого-почвенных режимов. Специфика последних предопределила методику исследований, постановку полевых опытов, проведение анализов и интерпретацию результатов. Географическая привязка полевых опытов согласно GPS- геолокации позиционировалась координатами: 63°05'04'с.ш. и 130°25'08''в.д. и 61°22'29''с.ш. и 128°50'57''в.д.

2.1. Характеристика полевых опытов

Высокая результативность исследований достигнута путем закладки и проведения многолетних полевых опытов по оценке урожая однолетних кормовых культур (подсолнечник, суданская трава, кукуруза, редька масличная, просо) при их возделывании на типичных мерзлотных почвах (лугово - черноземная, аллювиальная дерновая, дерново - луговая) с разным уровнем плодородия и мерзлотным характером функционирования во времени и пространстве в течении 2011-2021 гг. При этом, каждый полевой опыт имел разные схемы и признаки оценки. Как следствие, разные по морфологическим, биологическим и ботаническим параметрам эти культуры имели различный отклик на агротехнологические приемы их возделывания и устойчивость получения высоких урожаев, а равно кинетические, энергетические и кормовые характеристики.

2.1.1. Общее построение

Массив полевых исследований представлены в виде пяти полевых стационарных опытов на мерзлотных почвах, в каждом из которых высевали однолетние кормовые культуры. На основании этого реестра кормовых культур предпринята попытка обосновать урожай и разработать агротехнологические

приемы, которые позволяют снизить риски их возделывания в типичных условиях мерзлотного земледелия и получить урожай зеленой массы с разным качественным и энергетическим наполнением.

Достижение последнего обеспечивалось разными изучаемыми признаками, в ряду которых отметим наиболее значимые: проведение периодического вегетационного полива в течении полевого сезона и варианты без орошения (богара), варьирование разными календарными сроками - датами посева (декада месяца), внесение полного минерального удобрения (NPK) в двух разных дозах (NPK₉₀ и NPK₁₂₀) в качестве основного с разной схемой посева в междурядьях (15, 30 и 60 см). В этой общей совокупности этих признаков, характер и степень проявления их в конкретных условиях обеспечивали нивелирование или снижение рисков возделывания высокопродуктивных теплолюбивых однолетних кормовых культур и получение урожая в жестких мерзлотных режимах.

Вегетационный полив за полевой сезон проводили, как правило, несколько раз (от трех до пяти поливов) в зависимости от содержания влаги в пахотном (0-20 см) слое мерзлотных почв и уровня выпадения атмосферных осадков с использованием дождевального агрегата КИ-5 и нормой 300 м³ за один прием.

Изучение эффективности посева этих однолетних кормовых культур в разных календарных датах в разрезе «декада - месяц» проводили под монокультурой, которые определялись конкретным состоянием и готовностью почвы к проведению посева. В этом понимании первая декада июня (1 - 10 июня) по данным практики полевых работ, а также «Рекомендаций зональной системы ведения земледелия Республики Саха (Якутия)» (2009) является едва ли не опорной. Однако, ряд дискуссионных моментов не позволяют гарантировать устойчивый выход продукции в эти сроки посева. Поэтому, ряд полевых опытов был заложен по оценке наиболее эффективных календарных сроков посева для этих кормовых культур. Мотивация постановки таких исследований связана с тотальным и повсеместным дефицитом тепловых ресурсов, в т.ч. весной, с последующим нарастанием более благоприятных температурных режимов для начала посевных работ. Именно такой агротехнологический прием - подбор и

оценка наиболее эффективных сроков посева однолетних кормовых культур требовательных к теплу выступал в качестве одного из ключевых приемов, обеспечивающих снижение рисков получения урожая в мерзлотных режимах.

Соответственно, изучаемые однолетние кормовые культуры в полевых опытах высевали в три разных срока: 1-2 июня (I декада), 15-16 июня (II декада) и 29-30 июня (III декада июня), независимо от морфо-биологических и ботанических их различий. В отличие от этих сроков, на богаре (без орошения) календарные даты посева этих же кормовых культур проводили только в два календарных срока - 1-2 июня (I декада) и 15-16 июня (II декада). В итоге, агротехнологический прием по оценке лучших календарных сроков посева на мерзлотных почвах в условиях орошения и без, служил общим знаменателем для всех изучаемых кормовых культур в качестве приема, обеспечивающего получение урожая. Уборку зеленой массы проводили, исходя из конкретных фенологических фаз развития, и, как правило, приступили в первой-второй декаде августа. Отсюда, подбор наиболее благоприятных сроков посева однолетних кормовых культур выступала одним из ключевых параметров снижения рисков их возделывания на мерзлотных почвах и получение урожая в мерзлотных режимах при тотальном доминировании холода системе почва - растение.

При этом, мониторинг наступления и прохождения растениями кормовых культур фенологических фаз оценивался по массовому их наступлению с одновременной оценкой изменения высоты растений в период от появления всходов до начала проведения уборочных работ (фаза цветения). Благодаря такому мониторингу, рассчитаны кинетические (скоростные) характеристики роста растений и темпы нарастания зеленой массы. Аналогичные изменения регистрировали и в модельном лабораторном опыте, по данным которого также оценивали кинетику роста этих культур на начальных этапах роста и развития.

При всей значимости оценки наиболее эффективных сроков посева, внесение минеральных удобрений выступало решающим агротехнологическим приемом снижения рисков возделывания этих культур на мерзлотных почвах с одновременным получением значимо высокого урожая. Минеральные удобрения

(NPK) вносили под изучаемые однолетние кормовые культуры на лугово-черноземной мерзлотной почве в виде легкорастворимого комплексного удобрения азофоска (16:16:16 д.в.) в двух разных дозах (90 и 120 кг д.в. на гектар) весной в качестве основного перед посевом. Дозы внесения минеральных удобрений соответствовали рекомендациям зональной системы ведения земледелия в Республике Саха (Якутия) (2009, 2017).

Сочетание высокого потенциала плодородия мерзлотной лугово-черноземной почвы и вносимых минеральных удобрений в купе с посевом в лучшие календарные даты обеспечивало значительное снижение рисков получения урожая в технологической схеме их возделывания в жестких режимах. Подобный подход к обоснованию снижения рисков возделывания кормовых культур продиктован ярким проявлением последних в системе почва - растение.

Наличие адресных агротехнологических решений для каждой культуры в купе с посевом в лучшие календарные сроки посева и внесением минеральных удобрений по фону орошения позволило выявить эффект разных схем посева в междурядьях. В полевых опытах расстояния в междурядных посевах для растений подсолнечника и кукурузы составили 30 и 60 см, суданской травы, просо и редьки масличной - 15 и 30 см. Подобная детализированная оценка посевов этих культур с разным междурядьем на мерзлотных почвах ранее не предпринималась. Возможность позитивного влияния уплотненных и обычных посевов на формирование урожая зеленой массы этих кормовых культур в мерзлотном земледелии ранее никогда не оценивалось.

Система обработки и подготовка мерзлотных почв, независимо от морфологических и биологических особенностей однолетних кормовых культур, представляла единую характерную типичную панораму проведения агротехнических приемов подготовки согласно «Зональная система ведения сельского хозяйства» Республики Саха(Якутия) (2009). Принципиально такая обработка почв к посеву выражалась в виде проведения осенней вспашки (зябь) с последующим 2 и 4-х кратным дискованием, весенним закрытием влаги, двукратным тяжелым и легким боронованием с повторным боронованием весной

перед проведением посева. Заделку основного минерального удобрения проводили путем боронования с последующим прикатыванием.

Для проведения посева в полевых стационарных опытах использовали высококондиционные семена сортов и гибридов, адаптированные и выведенные, за редким исключением (кукуруза), успехами сибирской селекции (Сибирский НИИ кормов СО РАН), которые соответствовали требованиям, предъявляемым к конкретной зоне возделывания. Посев семян каждой культуры проводился в три разных срока, которые различались в пределах декад месяца (июнь), как правило в первой- второй и реже - третьей декаде июня. При этом, норма высева семян однолетних кормовых культур (при 100% всхожести) составила: подсолнечник 40, суданская трава 25, кукуруза 40, редька масличная 10 и просо 25 кг / га.

Каждый полевой опыт с конкретной изучаемой кормовой культурой (подсолнечник, суданская трава, кукуруза, редька масличная, просо) размещался на отдельном земельном контуре, в состав которого входили разные изучаемые варианты (внесение удобрений, разные сроки посева, схемы междурядий, с орошением и без орошения) в трех- кратной повторности с рендомизированным размещением в натурном исполнении на трех различных по плодородию мерзлотных почвах - лугово-черноземная, аллювиальная дерновая и дерново-луговая с площадью делянок равной $S = 72 \text{ м}^2$ (7.2 м x 10 м). Более развернутая характеристика каждого полевого опыта и схема опытов представлена ниже в п/разделе 2.1.2.

В период онтогенеза растений кормовых культур проводили мониторинг развития растений в типичных мерзлотных условиях - фенологические и фитометрические наблюдения, в которых оценивали начало наступления и продолжительность прохождения фенологических фаз, и изменение высоты растений в динамике по фазам развития. Результаты последних служили основанием для построения математических моделей по оценке скоростных характеристик роста этих кормовых культур в типичных мерзлотных условиях. Как результат, характер этого отклика аппроксимировался повсеместно в виде функции экспоненциальной регрессии.

Уборку урожая однолетних кормовых культур проводили вручную с каждого варианта опытов в период наибольшего нарастания зеленой массы, которое, как правило, приходилось на фазу цветения путем взвешивания. Из учетной зеленой массы урожая ежегодно отбирались растительные образцы для определения биохимических показателей на кормовые достоинства сочных кормов. Помимо этого, в течении полевого сезона по фазам развития растений отбирались растительные образцы и ежегодно в каждом полевом опыте до посева и после уборки отбирались почвенные образцы с 0-20 см в слое каждого варианта по классической методике (Ганжара и др., 2002, 2012, 2014). Почвенные разрезы, заложенные в течении полевого сезона для каждой изучаемой мерзлотной почвы, позволили дать портретно- профильную характеристику, которые повсеместно имели выраженные специфические особенности (описание разрезов выполнено совместно при консультировании Десяткин Р.В.). Описание почвенных разрезов подробно представлено ниже в подразделе 2.3.2.

2.1.2. Особенности постановки

Полевые опыты с культурой подсолнечника заложены на трех мерзлотных почвах (мерзлотная лугово-черноземная, мерзлотная аллювиальная дерновая, мерзлотная дерново-луговая), которые различались вариантами, режимом орошения и сроками посева. Во всех опытах подготовка почвы предусматривала проведение общих агротехнических приемов, которая включала основную обработку в виде зяблевой вспашки осенью (ПЛН - 4 - 35), закрытие влаги весной в два следа дисковыми луцильниками (ЛДГ-5) в первой декаде мая, дискование тяжелыми боронами (БДТ-3) в два следа, культивация с одновременным внесением минеральных удобрений, до- и после- посевное боронование с прикатыванием и посев семян подсолнечника на глубину 4-5 см. Орошение проводили за вегетационный период (от трех до пяти) дождевальным агрегатом (КИ-5) с нормой 300 м³/га. Уборку проводили механизировано в фазу цветения.

Исследования с подсолнечником включали постановку трех отдельных полевых опытов. Условная маркировка (код) опытов имела вид: ПС - подсолнечник, У - минеральные удобрения, С - сроки посева, О - орошение, БО - без орошения.

а). **опыт ПС-1. У/О** на мерзлотной лугово-черноземной почве с внесением минеральных удобрений при орошении, схема которого включала шесть вариантов:

- 1). контроль - без удобрений, посев с междурядьем 30 см
- 2). контроль - без удобрений, посев с междурядьем 60 см
- 3). минеральные удобрения (NPK₉₀), посев с междурядьем 30 см
- 4). минеральные удобрения (NPK₉₀), посев с междурядьем 60 см
- 5). минеральные удобрения (NPK₁₂₀), посев с междурядьем 30 см
- 6). минеральные удобрения (NPK₁₂₀) с междурядьем 60 см

Площадь опытной делянки 72 м², учетной - 50 м². Расположение делянок рендомизированное в трехкратной повторности, минеральные удобрения вносили ежегодно в виде азофоски (16:16:16) в двух дозах (90 и 120 кг д.в. на гектар) весной в качестве основного удобрения перед посевом вручную. Способ посева рядовой. Для посева подсолнечника использовали сорт Кулундинский, посев которого проводили с нормой высева семян 40 кг на гектар в первой декаде июня с 1 по 5 июня с маркировкой I - VI, где I - декада месяца и VI - июнь.

б). **опыт ПС-2. С/О** на мерзлотной аллювиальной дерновой почве по изучению разных сроков посева при орошении. Схема опыта включала три варианта:

- 1). первый (ранний) календарный срок посева - первая декада июня (I - VI)
- 2). второй (средний) календарный срок посева - вторая декада июня (II - VI)
- 3). третий (поздний) календарный срок посева - третья декада июня (III - VI).

Площадь опытной делянки 72 м², учетная - 50 м². Расположение делянок рендомизированное в трехкратной повторности. Способ посева рядовой. Для посева подсолнечника использовали сорт Кулундинский. Посев первого (раннего) срока проводили в первой декаде июня (I - VI) с 1 по 10 число, второго (среднего)

срока - во второй декаде июня (II - VI) с 11 по 20 число, третьего (позднего) срока - в третьей декаде июня (VIII - VI) с 21 по 30 число или в оцифровке сроков в виде символов I-VI, II-VI, III-VI) с нормой высева семян 40 кг на гектар. Уборку подсолнечника (зеленая масса) первого срока посева - проводили во второй декаде августа, второго срока - в третьей декаде августа и третьего срока - в первой декаде сентября механизировано в период наибольшего нарастания зеленой массы растений (фаза цветения).

в). **опыт ПС-3. С/БО** на мерзлотной дерново-луговой почве по изучению сроков посева без орошения. Схема опыта включала два варианта:

- 1). первый (ранний) календарный срок посева - первая декада июня (I - VI)
- 2). второй (средний) календарный срок посева - вторая декада июня (II - VI)

Опыт проводили в богарных условиях - без орошения, площадь делянок 72 м², учетная - 50 м² с рендомизированным расположением в трехкратной повторности. Способ посева рядовой. Для посева подсолнечника использовали сорт Кулундинский с нормой высева семян 40 кг на гектар. Посев первого раннего срока проводили в первой декаде июня ((I - VI) с 1 по 10 число, второго срока посева - во второй декаде июня (II - VI) с 11 по 20 число. Уборку зеленой массы подсолнечника проводили в фазу цветения при первом сроке посева во второй декаде августа и в случае второго срока посева - в первой декаде сентября.

Полевые опыты с культурой суданская трава заложены на двух мерзлотных почвах (мерзлотная лугово-черноземная, мерзлотная аллювиальная дерновая), которые различались вариантами и сроками посева при орошении. В опытах подготовка почвы предусматривала проведение общих агротехнических приемов, которая включала основную обработку в виде зяблевой вспашки осенью (ПЛН - 4 - 35), закрытие влаги весной в два следа дисковыми луцильниками (ЛДГ - 5) в первой декаде мая, дискование тяжелыми боронами (БДТ-3) в два следа, культивация с одновременным внесением минеральных удобрений, до- и после-посевное боронование с прикатыванием и посев семян суданской травы на глубину 2-3 см. Орошение проводили за вегетационный период (от трех до пяти)

дождевальным агрегатом (КИ-5) с нормой 300 м³/га. Уборку проводили механизировано в фазу цветения.

Исследования с суданской травой включали постановку двух отдельных полевых опытов. Условная маркировка (код) опытов имела вид: СТР - суданская трава, У - минеральные удобрения, С - сроки посева, О - орошение.

а). **опыт СТР-1. У/О** на мерзлотной лугово-черноземной почве с внесением минеральных удобрений при орошении, схема которого включала шесть вариантов:

- 1). контроль - без удобрений, посев с междурядьем 15 см
- 2). контроль - без удобрений, посев с междурядьем 30 см
- 3). минеральные удобрения (NPK₉₀), посев с междурядьем 15 см
- 4). минеральные удобрения (NPK₉₀), посев с междурядьем 30 см
- 5). минеральные удобрения (NPK₁₂₀), посев с междурядьем 15 см
- 6). минеральные удобрения (NPK₁₂₀) с междурядьем 30 см

Площадь опытной делянки 72 м², учетной - 50 м². Расположение делянок рендомизированное в трехкратной повторности, минеральные удобрения вносили ежегодно в виде азофоски (16:16:16) в двух дозах (90 и 120 кг д.в. на гектар) весной в качестве основного удобрения перед посевом вручную. Способ посева рядовой. Для посева суданской травы использовали сорт Новосибирская 84, посев которого проводили с нормой высева семян 25 кг на гектар в первой декаде июня с 1 по 5 июня с маркировкой I - VI, где I - декада месяца и VI - июнь.

б). **опыт СТР-2. С/О** на мерзлотной аллювиальной дерновой почве по изучению разных сроков посева при орошении. Схема опыта включала три варианта:

- 1). первый (ранний) календарный срок посева - первая декада июня (I - VI)
- 2). второй (средний) календарный срок посева - вторая декада июня (II - VI)
- 3). третий (поздний) календарный срок посева - третья декада июня (III - VI).

Площадь опытной делянки 72 м², учетная - 50 м². Расположение делянок рендомизированное в трехкратной повторности. Способ посева рядовой с нормой высева семян 25 кг /га. Для посева суданской травы использовали сорт

Новосибирская 84. Посев первого (раннего) срока проводили в первой декаде июня (I - VI) с 1 по 10 число, второго (среднего) срока - во второй декаде июня (II - VI) с 11 по 20 число, третьего (позднего) срока - в третьей декаде июня (VIII - VI) с 21 по 30 число или в оцифровке сроков в виде символов I-VI, II-VI, III-VI). Уборку суданской травы (зеленая масса) первого срока посева - проводили во второй декаде августа, второго срока - в третьей декаде августа и третьего срока - в первой декаде сентября механизировано в период наибольшего нарастания зеленой массы растений (фаза цветения).

Полевые опыты с культурой кукуруза заложены на трех мерзлотных почвах (мерзлотная лугово-черноземная, мерзлотная аллювиальная дерновая, мерзлотная дерново-луговая), которые различались вариантами, режимом орошения и сроками посева. Во всех опытах подготовка почвы предусматривала проведение общих агротехнических приемов, которая включала основную обработку в виде зяблевой вспашки осенью (ПЛН - 4 - 35), закрытие влаги весной в два следа дисковыми луцильниками (ЛДГ-5) в первой декаде мая, дискование тяжелыми боронами (БДТ-3) в два следа, культивация с одновременным внесением минеральных удобрений, до- и после- посевное боронование с прикатыванием и посев семян кукурузы на глубину 4-5 см. Орошение проводили за вегетационный период (от трех до пяти) дождевальным агрегатом (КИ-5) с нормой 300 м³/га. Уборку проводили механизировано в фазу цветения.

Исследования с кукурузой включали постановку трех отдельных полевых опытов. Условная маркировка (код) опытов имела вид: КК - кукуруза, У - минеральные удобрения, С - сроки посева, О - орошение, БО - без орошения.

а). **опыт КК-1. У/О** на мерзлотной лугово-черноземной почве с внесением минеральных удобрений при орошении, схема которого включала шесть вариантов:

- 1). контроль - без удобрений, посев с междурядьем 30 см
- 2). контроль - без удобрений, посев с междурядьем 60см
- 3). минеральные удобрения (NPK₉₀), посев с междурядьем 30 см
- 4). минеральные удобрения (NPK₉₀), посев с междурядьем 60 см

5). минеральные удобрения (NPK₁₂₀), посев с междурядьем 30 см

6). минеральные удобрения (NPK₁₂₀) с междурядьем 60 см

Площадь опытной делянки 72 м², учетной - 50 м². Расположение делянок рендомизированное в трехкратной повторности, минеральные удобрения вносили ежегодно в виде азофоски (16:16:16) в двух дозах (90 и 120 кг д.в. на гектар) весной в качестве основного удобрения перед посевом вручную. Способ посева рядовой. Для посева кукурузы использовали гибрид Катерина, посев которого проводили с нормой высева семян 40 кг на гектар в первой декаде июня с 1 по 5 июня с маркировкой I - VI, где I - декада месяца и VI - июнь.

б). **опыт КК-2. С/О** на мерзлотной аллювиальной дерновой почве по изучению разных сроков посева при орошении. Схема опыта включала три варианта:

- 1). первый (ранний) календарный срок посева - первая декада июня (I - VI)
- 2). второй (средний) календарный срок посева - вторая декада июня (II - VI)
- 3). третий (поздний) календарный срок посева - третья декада июня (III - VI).

Площадь опытной делянки 72 м², учетная - 50 м². Расположение делянок рендомизированное в трехкратной повторности. Способ посева рядовой. Для посева кукурузы использовали гибрид Катерина. Посев первого (раннего) срока проводили в первой декаде июня (I - VI) с 1 по 10 число, второго (среднего) срока - во второй декаде июня (II - VI) с 11 по 20 число, третьего (позднего) срока - в третьей декаде июня (VIII - VI) с 21 по 30 число или в оцифровке сроков в виде символов I-VI, II-VI, III-VI) с нормой высева семян 40 кг на гектар. Уборку кукурузы (зеленая масса) первого срока посева - проводили во второй декаде августа, второго срока - в третьей декаде августа и третьего срока - в первой декаде сентября механизировано в период наибольшего нарастания зеленой массы растений (фаза цветения).

в). **опыт КК-3. С/БО** на мерзлотной дерново-луговой почве по изучению сроков посева без орошения. Схема опыта включала два варианта:

- 1). первый (ранний) календарный срок посева - первая декада июня (I - VI)
- 2). второй (средний) календарный срок посева - вторая декада июня (II - VI)

Опыт проводили в богарных условиях - без орошения, площадь делянок 72 м², учетная - 50 м² с рендомизированным расположением в трехкратной повторности. Способ посева рядовой. Для посева кукурузы использовали гибрид Катерина с нормой высева семян 40 кг на гектар. Посев первого раннего срока проводили в первой декаде июня ((I - VI) с 1 по 10 число, второго срока посева - во второй декаде июня (II - VI) с 11 по 20 число. Уборку зеленой массы кукурузы проводили в фазу цветения при первом сроке посева во второй декаде августа и в случае второго срока посева - в первой декаде сентября.

Полевые опыты с культурой редька масличная заложены на двух мерзлотных почвах (мерзлотная лугово-черноземная, мерзлотная аллювиальная дерновая), которые различались вариантами и сроками посева при орошении. В опытах подготовка почвы предусматривала проведение общих агротехнических приемов, которая включала основную обработку в виде зяблевой вспашки осенью (ПЛН - 4 - 35), закрытие влаги весной в два следа дисковыми луцильниками (ЛДГ - 5) в первой декаде мая, дискование тяжелыми боронами (БДТ-3) в два следа, культивация с одновременным внесением минеральных удобрений, до- и после-посевное боронование с прикатыванием и посев семян редьки масличной на глубину 2-3 см. Орошение проводили за вегетационный период (от трех до пяти) дождевальным агрегатом (КИ-5) с нормой 300 м³/га. Уборку проводили механизировано в фазу цветения. Исследования с редькой масличной включали постановку двух отдельных полевых опытов. Условная маркировка (код) опытов имела вид: РМ - редька масличная, У - минеральные удобрения, С - сроки посева, О - орошение.

а). **опыт РМ-1. У/О** на мерзлотной лугово-черноземной почве с внесением минеральных удобрений при орошении, схема которого включала шесть вариантов:

- 1). контроль - без удобрений, посев с междурядьем 15 см
- 2). контроль - без удобрений, посев с междурядьем 30 см
- 3). минеральные удобрения (NPK₉₀), посев с междурядьем 15 см
- 4). минеральные удобрения (NPK₉₀), посев с междурядьем 30 см

5). минеральные удобрения (NPK₁₂₀), посев с междурядьем 15 см

6). минеральные удобрения (NPK₁₂₀) с междурядьем 30 см

Площадь опытной делянки 72 м², учетной - 50 м². Расположение делянок рендомизированное в трехкратной повторности, минеральные удобрения вносили ежегодно в виде азофоски (16:16:16) в двух дозах (90 и 120 кг д.в. на гектар) весной в качестве основного удобрения перед посевом вручную. Способ посева рядовой. Для посева редьки масличной использовали сорт Тамбовчанка, посев которого проводили с нормой высева семян 10 кг на гектар в первой декаде июня с 1 по 5 июня с маркировкой I - VI, где I - декада месяца и VI - июнь.).

б). **опыт РМ-2. С/О** на мерзлотной аллювиальной дерновой почве по изучению разных сроков посева при орошении. Схема опыта включала три варианта:

- 1). первый (ранний) календарный срок посева - первая декада июня (I - VI)
- 2). второй (средний) календарный срок посева - вторая декада июня (II - VI)
- 3). третий (поздний) календарный срок посева - третья декада июня (III - VI).

Площадь опытной делянки 72 м², учетная - 50 м². Расположение делянок рендомизированное в трехкратной повторности. Способ посева рядовой. Для посева редьки масличной использовали сорт Тамбовчанка с нормой высева семян 10 кг на гектар. Посев первого (раннего) срока проводили в первой декаде июня (I - VI) с 1 по 10 число, второго (среднего) срока - во второй декаде июня (II - VI) с 11 по 20 число, третьего (позднего) срока - в третьей декаде июня (VIII - VI) с 21 по 30 число или в оцифровке сроков в виде символов I-VI, II-VI, III-VI). Уборку редьки масличной (зеленая масса) первого срока посева - проводили во второй декаде августа, второго срока - в третьей декаде августа и третьего срока - в первой декаде сентября механизировано в период наибольшего нарастания зеленой массы растений (фаза цветения).

Полевые опыты с культурой просо заложены на двух мерзлотных почвах (мерзлотная лугово-черноземная, мерзлотная аллювиальная дерновая), которые различались вариантами и сроками посева при орошении.

В опытах подготовка почвы предусматривала проведение общих агротехнических приемов, которая включала основную обработку в виде зяблевой вспашки осенью (ПЛН - 4 - 35), закрытие влаги весной в два следа дисковыми лущильниками (ЛДГ-5) в первой декаде мая, дискование тяжелыми боронами (БДТ-3) в два следа, культивация с одновременным внесением минеральных удобрений, до- и после- посевное боронование с прикатыванием и посев семян просо на глубину 2-3 см. Орошение проводили за вегетационный период (от трех до пяти) дождевальным агрегатом (КИ-5) с нормой 300 м³/га. Уборку проводили механизировано в фазу цветения.

Исследования с просо включали постановку двух отдельных полевых опытов. Условная маркировка (код) опытов имела вид: ПР - просо, У - минеральные удобрения, С - сроки посева, О - орошение.

а). **опыт ПР-1. У/О** на мерзлотной лугово-черноземной почве с внесением минеральных удобрений при орошении, схема которого включала шесть вариантов:

- 1). контроль - без удобрений, посев с междурядьем 15 см
- 2). контроль - без удобрений, посев с междурядьем 30 см
- 3). минеральные удобрения (NPK₉₀), посев с междурядьем 15 см
- 4). минеральные удобрения (NPK₉₀), посев с междурядьем 30 см
- 5). минеральные удобрения (NPK₁₂₀), посев с междурядьем 15 см
- 6). минеральные удобрения (NPK₁₂₀) с междурядьем 30 см

Площадь опытной делянки 72 м², учетной - 50 м². Расположение делянок рендомизированное в трехкратной повторности, минеральные удобрения вносили ежегодно в виде азофоски (16:16:16) в двух дозах (90 и 120 кг д.в. на гектар) весной в качестве основного удобрения перед посевом вручную. Способ посева рядовой. Для посева просо использовали сорт Баганское 88 с нормой высева семян 25 кг на гектар. Посев проводили в первой декаде июня с 1 по 5 июня с маркировкой I - VI, где I - декада месяца и VI - июнь.

б). **опыт ПР-2. С/О** на мерзлотной аллювиальной дерновой почве по изучению разных сроков посева при орошении. Схема опыта включала три варианта:

- 1). первый (ранний) календарный срок посева - первая декада июня (I - VI)
- 2). второй (средний) календарный срок посева - вторая декада июня (II - VI)
- 3). третий (поздний) календарный срок посева - третья декада июня (III - VI).

Площадь опытной деланки 72 м², учетная - 50 м². Расположение деланок рендомизированное в трехкратной повторности. Способ посева рядовой. Для посева просо использовали сорт Баганское 88 с нормой высева семян 25 кг на гектар. Посев первого (раннего) срока проводили в первой декаде июня (I - VI) с 1 по 10 число, второго (среднего) срока - во второй декаде июня (II - VI) с 11 по 20 число, третьего (позднего) срока - в третьей декаде июня (VIII - VI) с 21 по 30 число или в оцифровке сроков в виде символов I-VI, II-VI, III-VI). Уборку культуры просо (зеленая масса) первого срока посева - проводили во второй декаде августа, второго срока - в третьей декаде августа и третьего срока - в первой декаде сентября механизировано в период наибольшего нарастания зеленой массы растений (фаза цветения).

2.2. Метеорологические условия

Массив территории по состоянию климата, особенно в плане гидротермического и теплоэнергетического состояния, значительно отличается от европейской части, Западной и Восточной Сибири, Дальнего Востока. В наиболее общем виде подобное вызвано присутствием сплошного массива многолетней толщи вечной мерзлоты с постоянным доминированием в годовом цикле холодных воздушных масс, даже в теплый период времени, с высокой амплитудой сезонных и суточных температур воздуха и деятельного слоя почв. Годовая амплитуда температур воздуха составляет 100°С и является самой высокой на планете Земля. На территории республики преобладает резко континентальный климат, и температура воздуха зимой опускается до минус 60 градусов, а летом может достигать +40 градусов

Общая панорама климата определяла несколькими ключевыми признаками. Согласно, общепризнанным оценкам за год в среднем выпадает лишь 200 мм осадков при величине эвакотранспирации 320 - 360 мм и испаряемости 400 - 450 мм при коэффициенте увлажнения ($K_{увл}$) ниже 0.5. В отдельные годы почва промачивается не глубже 80 см. Лето жаркое с абсолютным максимумом $+38^{\circ}\text{C}$, зима суровая с абсолютным минимумом -64°C и продолжительная не менее 8.5 месяцев, а снежный покров в Центральной Якутии держится 7 месяцев (октябрь-апрель) с мощностью снежного покрова в марте до 38 см. Устойчивый снежный покров держится с 10 октября по 1 мая. По зимним температурам и годовой амплитуде колебаний температур (102°C) регион не имеет аналогов.

Весенние заморозки продолжаются обычно до половины июня, в 15 - 20 числах августа отмечаются уже осенние заморозки. Общая сумма активных температур выше 10°C в земледельческих районах Центральной Якутии - 1400 - 1600 $^{\circ}\text{C}$. За вегетационный период сумма активных температур в западной (равнинной) части территории составляет 1586 $^{\circ}\text{C}$, в восточной - 1485 $^{\circ}\text{C}$. Безморозный период длится от 67 до 76 дней. Среднегодовые температуры зимнего периода (с октября по апрель) колеблются от 7 - 8 $^{\circ}\text{C}$ до 40 - 45 $^{\circ}\text{C}$ ниже нуля.

Самым холодным месяцем является январь - среднемесячная температура воздуха колеблется от -30.6° до -45.2°C . Самая низкая температура воздуха, зарегистрированная в г. Якутске -64.40°C . Начало зимы в Центральной Якутии в среднем приходится на вторую декаду октября, а конец - на вторую декаду апреля. Недостаток влаги и почвенного тепла являются основными лимитирующими факторами для нормального роста и развития растений. На основе оценки климатических ресурсов региона по соотношению увлажненности и теплообеспеченности, территория Республики Саха (Якутия) приравнивается к засушливой полупустынной зоне.

Метеоусловия в период исследований (Хангаласский район Республики Саха (Якутия)) складывались типично с небольшими отклонениями от

средненоголетних. Из одиннадцати лет относительно благоприятными наблюдались четыре года (2011, 2013, 2017, 2020 гг.) (табл.6, приложение 1, 2).

В остальные годы главным ограничивающим фактором выступил разной степени дефицит увлажнения: умеренный (15 - 18%) в 2011 г. и 2016 г.; средний (28 - 38%) в 2012 г., 2014 г. и 2015 г. За годы исследований менее засушливыми по влагообеспеченности вегетационного периода (май-сентябрь) оказались пять лет (2012, 2014, 2015, 2018, 2021 гг.), когда осадки выпадали ниже средненоголетних (табл.6). В период наблюдений высокой влагообеспеченностью характеризовались три года (2013, 2017, 2020 гг.), когда за вегетационный период осадки выпадали на 119,7 и 22,6 мм больше средненоголетних (табл.6).

Таблица 6 - Статистические показатели температур воздуха (°C) и осадков (мм) в течении вегетационного периода, по данным АГМС «Покровская»

Годы	Температура воздуха, °C		Атмосферные осадки, мм	
	М ± m	V, %	М ± m	V, %
2011	13.0 ± 2.7	45.8	218.0 ± 12.9	13.2
2012	13.2 ± 2.2	37.9	162.1 ± 13.8	19.0
2013	12.8 ± 2.5	43.5	298.1 ± 16.6	12.5
2014	12.8 ± 2.8	48.6	157.0 ± 10.0	14.2
2015	12.6 ± 2.2	39.2	139.5 ± 4.0	6.4
2016	11.8 ± 2.7	51.8	191.0 ± 15.4	18.0
2017	12.9 ± 2.5	42.9	230.0 ± 13.5	13.1
2018	12.4 ± 2.6	46.7	168.0 ± 9.9	13.2
2019	12.7 ± 2.6	45.7	172.0 ± 6.1	7.9
2020	13.1 ± 2.6	44.2	201.0 ± 24.7	27.4
2021	14.1 ± 2.5	39.3	112.7 ± 5.0	9.9
среднее	12.9 ± 2.6	45.1	186.3 ± 5.4	6.5
ср/много.	13.1 ± 2.6	44.4	187.1 ± 10.0	12.0

За одиннадцать лет исследований в мае выше среднемноголетних значений в мерзлотных режимах региона наблюдались осадки в шести случаях (2011, 2013, 2015, 2017, 2018, 2019 гг.), в июне - девяти случаях (2011, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 гг.), в июле - пяти случаях (2011, 2013, 2014, 2016, 2017 гг.), в августе - четырех (2011, 2012, 2016, 2018 гг.), в сентябре - пяти случаях (2012, 2015, 2017, 2019, 2021 гг.) (табл.6). Недостаток влаги в июне отмечен в 2012 году. Июльская засуха отмечалась в шести случаях (2012, 2015, 2018, 2019, 2020, 2021 гг.). В августе дефицит влаги отмечен в течении семи лет (2013, 2014, 2015, 2017, 2019, 2020, 2021 гг.). Незначительное количество осадков в сентябре зафиксировано в пяти случаях (2011, 2014, 2016, 2018, 2020 гг.).

Среди наблюдаемых параметров теплые условия вегетационного периода отмечены в трех случаях (2012, 2020 и 2021 гг.), когда средняя температура воздуха составила соответственно 13.2°C и 14.1°C при норме 13,1°C (табл.6). Недостаток тепла был зафиксирован в мае в течении трех лет (2015, 2016 и 2017 гг.), в июне пяти лет (2011, 2014, 2015, 2016, 2018 гг.), в июле в течении четырех лет (2013, 2014, 2016, 2019 гг.) и в августе пять лет (2012, 2016, 2018, 2019, 2020 гг.), а в сентябре в течении пяти лет наблюдался холодный период (2011, 2013, 2014, 2015, 2018 гг.). Значительные отклонения от многолетнего по температуре воздуха наблюдались в мае 2013 и 2014 годы (9.1°C, 9.0°C при норме 7.7°C).

Гидротермические условия в период проводимых исследований складывались неоднозначно и отражали крайне неустойчивый режим температуры воздуха и атмосферных осадков при характерном доминировании холодных воздушных масс с дефицитом тепловых ресурсов.

Гидротермический коэффициент (ГТК по Селянинову) за период наблюдений в течении полевого сезона (май - сентябрь) в среднем находился на устойчивом уровне $ГТК = 1.0$ с очень широким диапазоном критических значений от 0.2 ... 0.5 - 0.6 до 1.5 ... 2.7 - 2.8. Такая вариативность свидетельствует о существенных колебаниях между периодами засухи и переувлажнения в течение вегетационного периода. Подобная отражает чрезвычайно высокую амплитуду гидротермического состояния системы почва - растение (табл.7). За годы

исследований максимальный гидротермический коэффициент наблюдается в течение двух лет - 2013 и 2017 годов, где его значения варьируются от 1.5 до 1.6 (табл. 7).

Значительными превышениями коэффициентов от 1.1 до 1.2 характеризуются три года (2011, 2015, 2019 гг.). В течение четырех лет (2012, 2014, 2016, 2018 гг.) гидротермический коэффициент остается на уровне 1.0 что указывает на стабильность.

Таблица 7 - Гидротермический коэффициент (ГТК) в течении вегетации
(по Г.Т. Селянинову, 1937)

Годы	V	VI	VII	VIII	IX	ср. за сезон
2011	1.0	0.5	1.0	1.7	1.9	1.2
2012	0.5	0.2	0.2	1.9	2.3	1.0
2013	2.1	1.6	2.1	0.4	1.8	1.6
2014	0.1	0.7	1.1	0.9	1.3	0.8
2015	1.4	0.6	0.2	0.7	2.8	1.2
2016	0.6	0.6	1.7	1.4	0.3	0.9
2017	1.1	0.4	1.5	0.7	3.6	1.5
2018	0.7	0.8	0.8	1.0	1.7	1.0
2019	0.5	0.5	0.6	1.4	2.7	1.1
2020	0.5	0.7	0.6	0.1	-	0.4
2021	0.4	0.2	0.5	0.6	1.5	0.6
среднее	0.8	0.6	0.9	1.0	1.8	1.0

Крайне неблагоприятными значениями близкими к минимальному уровню (0.4 - 0.6) отмечались два года (2020, 2021 гг.).

2.3. Характеристика мерзлотных почв

Исследования в формате полевых опытов проводились на типичных для региона мерзлотных почвах лугово - черноземная, аллювиальная дерновая и

дерново- луговая, которые представляют основной массив (2/3) земельных пахотных угодий Центральной зоны Республики Саха (Якутия). Мерзлотными называются близко подстилаемые многолетней мерзлотой почвы, у которых при промерзании происходит смыкание слоя сезонного протаивания с многолетней мерзлотой. Мерзлотные почвы имеют среднегодовую температуру ниже 0⁰С и отличаются рядом специфических свойств, обусловленных влиянием многолетней мерзлоты как фактора почвообразования и ежегодным промерзанием и протаиванием деятельного слоя почвы неотъемлемой частью почвообразования в зоне многолетней мерзлоты являются криогенные почвенные процессы (почвенный криогенез). Наличие сплошной многолетней мерзлоты в почвенном профиле с мощностью от 200 - 210 м до 350 м является наиболее специфическим параметром функционирования этих мерзлотных почв во времени и пространстве (Еловская, 1987; Куликов и др., 1997; Десяткин, 2005, 2009; Савич и др., 2010).

2.3.1. Показатели плодородия и гидротермический режим

По показателям почвенного плодородия мерзлотные почвы различались и имели специфические характеристики. В ряду изучаемых почв содержание гумуса в почвах высокое и характеризовалось высокой устойчивостью величин с наибольшим в мерзлотной лугово-черноземной ($5.03 \pm 0.3\%$), снижением в мерзлотной аллювиальной дерновой ($4.83 \pm 0.4\%$) при значимо меньшем в мерзлотной дерново-луговой почве ($4.31 \pm 0.3\%$) (табл.8).

В аналогичном ряду мерзлотных почв снижалось и содержание общего азота, которое оказалось наибольшим в лугово-черноземной и по выборочной средней составило $0.45 \pm 0.03\%$, снижалось к аллювиальной дерновой $0.39 \pm 0.01\%$ и оказалось достоверно меньшим в дерново-луговой почве $0.32 \pm 0.02\%$ при общей высокой устойчивости величин (табл.8). Ранжирование мерзлотных почв по содержанию подвижного фосфора и обменного калия возрастало в аналогичном их ряду. Обеспеченность почв в первом случае (мг/кг) оказалась невысокой и по выборочной средней возрастало от 136.3 ± 0.9 в лугово-черноземной до 157.3 ± 17.1 в аллювиальной дерновой вплоть до 265.3 ± 36.3 .

Таблица 8 - Показатели плодородия мерзлотных почв

pH _{сол}	Гумус, %	Азот общий, %	* Подвижный фосфор (P ₂ O ₅)	** Обменный калий (K ₂ O)
			мг / 100 г почвы	
мерзлотная лугово-черноземная почва				
6.8 ± 0.0	5.03 ± 0.3	0.45 ± 0.0	157.3 ± 17.1	240.3 ± 11.0
мерзлотная аллювиальная дерновая почва				
7.1 ± 0.0	4.83 ± 0.4	0.39± 0.0	265.3 ± 36.3	150.3± 4.3
мерзлотная дерново-луговая почва				
7.2 ± 0.0	4.31 ± 0.3	0.32 ± 0.0	136.3 ± 0.9	442.7 ± 88.7

*подвижный P₂O₅ по Чирикову; **обменный K₂O по Масловой

В случае с обменным калием обеспеченность этих почв (мг/кг) была высокой с ранжированием снижения в их ряду соответственно $442.7 \pm 88.7 \rightarrow 240.3 \pm 11.0 \rightarrow 150.3 \pm 4.3$. Отметим низкое присутствие минерального (нитратного) азота с очень высокой вариабельностью при широком разбросе величин. По гидротермическому режиму изучаемых мерзлотных почв характеризовались специфическими параметрами, которые в аспекте возделываемых кормовых культур выступают едва ли основным фактором риска получения продукции, наряду с показателями состояния климата.

Согласно оценкам ряда авторов, отметим доминирование холодных масс в годовом теплообороте, наличие больших запасов холода в профиле почв с мощными многолетнемерзлыми породами при наличии очень короткого безморозного периода (71.7 ± 5.8 дней), дефицита осадков (186 - 310 мм), ограниченной суммы активных температур ($1542 \pm 21.1^\circ\text{C}$) и продолжительным стоянием снежного покрова (220 -250 дней). Как следствие, мерзлота в почвах представлена по типу «лед-цемент» (Куликов и др., 1997; Якименко, 2003; Десяткин, 2020).

Отсюда, почвы имели специфический характер режимных процессов: водный режим характеризовался как мерзлотный, а температурный - мерзлотный с

дефицитом тепловых ресурсов при высокой энергетике процессов оттаивания - промерзания. Именно наличие этих факторов и сочетание серии последних процессов приводит к формированию специфических отрицательных форм рельефа на мерзлотных почвах региона. Для мерзлотных почв характерно наличие ярко выраженного высокого потенциала криогенеза, который поддерживается объективными показателями.

2.3.2. Портретно-профильная характеристика

При всей специфике показателей почвенного плодородия и состояния гидротермических их режимов, несомненную значимость представляет профильное их описание. Почвенные разрезы были заложены до начала полевых опытов. Ниже представлены морфологические описания профилей последовательно мерзлотной лугово-черноземной, аллювиальной дерновой и дерново-луговой почв.

Мерзлотные лугово - черноземные почвы широко распространены в долинах среднего течения крупных рек Республики Саха (Якутия), развиваются по оценкам Л.Г. Еловской (1987), Р.В. Десяткиным и др., (2009) под типичной лугово - степной растительностью и занимают склоны увалов надпойменных террас.

По мнению авторов, на террасах эти почвы обычно образуют комплекс почв, сочетаясь с черноземами на увалах и нижерасположенными черноземно-луговыми почвами ложин или с солончаками. Для этих мерзлотных почв, по наблюдениям авторов, процесс оттаивания происходит на глубину до 1.6 -1.8 м. Эти почвы характеризуются высоким содержанием гумуса, нейтральной реакцией среды, засоленностью верхних горизонтов, низкой полевой влажностью и отличаются высоким потенциальным уровнем плодородия.

Лугово - черноземные почвы являются полугидроморфными, т.е. получающими дополнительную влагу за счет стока вод с вышележащих элементов рельефа. При этом, вследствие засушливости климата, малого количества осадков и склонового положения надмерзлотные воды не формируется (Еловская, 1987).

Морфологическое строение мерзлотной лугово - черноземной почвы
(с. Немюгюнцы, Хангаласский улус Республика Саха (Якутия))

Ad	0 - 7 см	Темно-серый, уплотненный, пылеватый, сухой легкосуглинистый. Обильные корни, от HCl не вскипает. Переход ясный, граница ровная
AB	7 - 20 см	Неоднородный по окраске: буровато-светло серый с темно-серыми затеками органического вещества, плотный, бесструктурный, свежий легкосуглинистый. Обилие корневых волосков, от HCl не вскипает. Переход резкий, граница неровная.
B	20 - 60 см	Светло-серый, комковатый, уплотненный, свежий среднесуглинистый. Редкие корни, от HCl не вскипает. Переход четкий, граница ровная.
B _{ca}	60 - 84 см	Светло-серый, уплотненный, слоистый, слегка влажный легкосуглинистый. Редкие корни, от HCl вскипает бурно. Переход постепенный, граница ровная.
BC _{ca}	84 - 100 см	Светло-серый с белесым оттенком, уплотненный, слоистый, слабовлажный легкосуглинистый. Корни отсутствуют, от HCl вскипает средне.

Мерзлотные пойменные почвы встречаются на поймах и островах Лены, Алдана, Вилюя, Олекмы, Амги и в низовьях их крупных притоков. Эти почвы большей частью используются под сенокосные угодья. Пойменные луга дают устойчивые и высокие урожаи трав. Наибольшая площадь заливных пойменных лугов расположена в долине р. Лены, от села Качикатцы до устья р. Вилюя, где долина местами расширяется до 30-40 км. Первая пойма заливается полыми водами и покрыта тальником и злаково-осоковой растительностью.

Мерзлотные аллювиальные дерновые почвы характеризуются как очень перспективные в плане сельскохозяйственного освоения. Составляют основной

фон почвенного покрова и широко распространены на всех участках поймы под настоящими и остепненными лугами.

Морфологическое строение мерзлотной аллювиальной дерновой почвы
(п. Селекционная, Хангаласский улус, Республика Саха (Якутия))

A _d	0 - 2 см	Буровато-серая с блестящими крапинками песка, неплотная, свежая дернина. Переход ясный, граница ровная.
A	2 - 10 см	Серый, среднеуплотненный, комковатый, свежий легкосуглинистый. Густо пронизан корнями трав, от HCl не вскипает. Переход постепенный, граница ровная.
B	10 - 60 см	Буроватый, до 26 см плотный, свежий опесчаненный суглинок со светло-серыми прослойками песка, ниже-рыхлый песчаный с чередованием уплотненного, комковатого суглинка. Пронизан корнями трав, от HCl не вскипает. Переход ясный, граница ровная.
BC	60 - 95 см	Светло-серый с ржавыми вкраплениями, уплотненный, влажноватый песчаный. Залегае на ровной мерзлоте.

В морфологическом строении характерны наличие дернового и гумусо - аккумулятивного горизонтов суммарной мощностью до 30 см. Слоистость профиля с чередованием отложений различного механического состава, наличие пятен ожелезнения и признаков оглеения в средней и нижней частях профиля, небольшая глубина сезонного протаивания (150-180 см). Мерзлотные аллювиальные дерновые типичные почвы ежегодно заливаемой части низкой поймы высокогумусированы и содержат достаточное количество питательных элементов. В этих условиях во второй половине лета протекает усиленная минерализация органических веществ с

образованием верхнего гумусированного слоя. Мерзлотные аллювиальные дерновые почвы широко используются как сенокосные и пастбищные угодья, а также для возделывания овощных и картофеля. Они являются основным резервом освоения земельных ресурсов.

Анализ данных показывает, что примерно такое соотношение обменных оснований характерно для большинства типов аллювиальных почв. Верхние горизонты по механическому составу песчано-крупнопылеватые, а нижележащие-песчаные. Реакция среды - нейтральная по всему профилю. Широко используются под сельскохозяйственные культуры. Верхние горизонты по гранулометрическому составу песчано-крупнопылеватые, а нижележащие-песчаные. П=Реакция среды нейтральная по всему профилю. Почвы широко используются под посевы сельскохозяйственных культур. На освоенных почвах содержание гумуса и калия - среднее, фосфора - высокое. В почвах повсеместно выражены криогенные процессы (термокарст, криосолифлюкция, морозобойные трещины и пр.) с очень высоким и высоким потенциалом криогенеза и мерзлота в профиле почв представлена по типу «лед-цемент» (Добровольский, 1968; Еловская, 1987; Куликов и др., 1997; Десяткин и др., 2009, 2020; Pei, 2008; Raiesi, 2014).

Соответственно, почвы имели специфический характер режимных процессов: водный режим характеризовался как мерзлотный, а температурный - мерзлотный с дефицитом тепловых ресурсов при высокой энергетике процессов оттаивания-промерзания почв. Именно наличие и сочетание серии последних процессов приводит к формированию специфических отрицательных форм рельефа на мерзлотных почвах этого региона пойм.

Мерзлотные дерново-луговые почвы распространены на пониженных участках, плоских элементах рельефа, чаще всего в долинах мелких таежных рек в условиях умеренного и временно повышенного увлажнения в сочетаниях с мерзлотными дерново-глееватыми, лугово-черноземными и черноземно-луговыми почвами. Эти почвы характеризуются периодически промывным водным режимом, развитым дерновым горизонтом, большим накоплением органического вещества. Генетическим недостатком их является наличие холодного почвенного климата,

т.к. они располагаются преимущественно в местах, подвергающихся раннеосенними и поздневесенними заморозками.

Морфологическое строение дерново-луговой мерзлотной почвы
(с. Немюгюнцы, Хангаласский улус, Республика Саха (Якутия))

А	0 - 7 см	Темно-серый, нижняя часть горизонта имеет ржавый оттенок, свежий, уплотненный, среднесуглинистый, мелкие корни, от НС1 не вскипает. Переход ясный, граница волнистая.
В	7 - 80 см	Неоднородный по окраске: на светло-коричневом фоне палевые прослойки, плотный, комковатый, криотурбированный, свежий, среднесуглинистый. Корни до глубины 75 см, от НС1 не вскипает. Переход ясный, граница кармановидная.
ВС	80 - 100 см	Светло-серый, уплотненный, кубовидный, влажный среднесуглинистый. Корни отсутствуют, от НС1 не вскипает, залегает на сухой мерзлоте.

В целом, почвенные условия в период исследований отражали специфические характеристики плодородия мерзлотных почв Субарктической провинции (Еловская, 1987; Десяткин и др., 2009, 2019, 2023).

Описание разрезов выполнено совместно с Р.В. Десяткиным. При этом, обобщение их характера определялась в виде близко к нейтральной и слабощелочной реакцией почвенного раствора (рН 6.8 ... 7.2) с достаточно высокой обеспеченностью общим азотом (0.32 ... 0.45%) широким диапазоном подвижного Р₂О₅ (136.3 - 265.3 мг/кг почвы) и особенно - обменного калия К₂О (150.3 - 442.7 мг/кг почвы) при высоком содержании гумуса в почвах (4.31 - 5.03%). По

гранулометрическому составу почвы типичные и характеризовались от среднего до тяжелого (Еловская, 1987; Будажапов, 2019; Десяткин и др., 2009, 2019).

2.4. Методы оценки, анализ и интерпретация

Оценка теоретического и технологического уровня (производственный) урожая полевых культур осуществлялась на основе общепризнанных классических принципов программирования (Каюмов, 1989; Шатилов и др., 1980, 2004). При характеристике прихода фотосинтетической активной радиации (ФАР) и к.п.д. фотосинтетической активной радиации в расчетах потенциального урожая (ПУ) руководствовались известными классическими подходами (Ничипорович, 1972; Ковалев, 1997; Якушкина, 1993; Петров и др., 2011) и отдельными научно-методическими решениями (Будажапов, 1998).

Приход фотосинтетической активной радиации (ФАР) в исследованиях оценивали по литературным источникам (Ничипорович, 1966а; Каюмов, 1989; Семенова, 1992) с корректировкой конкретных полевых культур и условий (Будажапов, 1998) и с учетом специфики широтного дефицита поступления солнечной инсоляции в Субарктической провинции (Тимирязев, 1937, 1948; Ничипорович, 1966б; Ковалев, 1997). Обоснование урожаев по лимитирующим абиотическим факторам (ДВУ), в частности - по дефициту тепловых ресурсов проводили по формулам, предложенные М.К. Каюмовым (1987) применительно в суровым по тепловым ресурсам условиям этой Субарктической провинции.

Показатели плодородия мерзлотных почв и особенности биохимического состава кормов зеленых масс определяли согласно общепринятым стандартным методикам. Последние - в испытательной лаборатории (ИЛ) ГБУ «Служба земледелия» Республики Саха (Якутия) и в лаборатории переработки сельскохозяйственной продукции и биохимических анализов Якутского НИИСХ на анализаторе (Spectra Star 2200). Анализы биохимического состава урожая однолетних культур и кормовых достоинств проводили по общепринятым методикам.

Содержание общего азота определяли по методу Кьельдаля, сырой клетчатки - методом Ганнеберга, сырой золы - сухим озолением, сырого жира - по Рушковскому. Оценка основных показателей плодородия изучаемых мерзлотных почв региона проводили по стандартным методам (Аринушкина, 1970). Гумус определяли по И.В. Тюрину (ГОСТ 26213-91), общий азот - по методу Кьельдаля нитратный азот - дисульфифеноловым методом, подвижный фосфор по Чирикову, обменный калий по Масловой, рН-кислотность почвы потенциометрически (ГОСТ 26483-85). Гранулометрический состав почв - по Качинскому.

Фенологические наблюдения в посевах однолетних культур проводили в течении каждого полевого сезона ежегодно в период от появления всходов до уборки урожая. Наступление фаз развития растений определяли по каждой кормовой культуре отдельно по общепринятой методике ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса (1997). Разбор и анализ растительных образцов проводили в зеленом виде с последующим определением содержания сухого вещества в общепринятом восприятии по методике ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса (Методические указания..., 1983, 1997; Методика полевого..., 1985).

Энергетическая оценка отклика однолетних кормовых культур в мерзлотных условиях под влиянием агротехнологических приемов повышения урожая культур достигнута с применением методик ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса (Методическое пособие по агроэнергетической оценке..., 1995, 2000). Анализ полученных данных позволил обосновать значимость энергетического статуса в повышении устойчивости однолетних культур с разным морфобиологическим составом. Именно этот анализ в представленных результатах становится ключевым в обосновании значимости формирования однолетних кормовых культур как наиболее мотивированная платформа для практической реализации концепции стратегического развития устойчивой кормовой базы.

На этом основании представлены индикаторы получения энергоемких зеленых и сочных кормов в критических режимах. В работе представлен масштабный вариационно - статистический анализ полученных данных в полевых опытах с однолетними кормовыми культурами.

Подобный анализ позволил провести обобщение урожайных данных, вычленив ряд общих и частных специфических закономерностей и выстроить на этой основе ряд ожидаемых показателей урожаев в разных режимах оценки по разным вариантам и мерзлотным почвам, в частности - по диапазону крайних величин урожая (минимальных - максимальных), диапазон средних показателей с отклонениями и вариабельности величин от средних как параметр устойчивости полученных урожаев под воздействием различных изучаемых признаков. В этом позиционировании, такой анализ для изучаемых культур представлен впервые.

Статистический анализ полученных данных проводили общепринятыми методами и руководствами (Савич, 1972; Лакин, 1980, 1990; Дмитриев, 2009) с использованием стандартной программы Excel (2010). Построение математических моделей для оценки кинетики роста и развития растений в течении вегетационного периода обеспечивалась в виде экспоненциальной функции ($y = ae^{kt}$) с вычлениением константы (k) скорости этих процессов. Подобный статистический анализ обеспечивался данными многолетних исследований в виде баз данных (БД) по вариативным показателям урожая (статистики урожая) однолетних кормовых полевых культур.

Оценка экономической эффективности агротехнологических приемов возделывания однолетних кормовых культур в различных технологических режимах (орошение и без орошения, разные календарные сроки посева) представлена в виде классических подходов и методики экономической эффективности согласно ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса (1995, 2000).

Наряду с этим экономическим анализом предпринята попытка оценить конкурентоспособность урожая зеленой массы однолетних кормовых культур в мерзлотных режимах по показателю вклада в покрытие постоянных издержек (ВППИ) с оценкой конкурентоспособности культур по величине равновесной урожайности (РУ) (Шпаар, 2008, 2014).

ГЛАВА 3. 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 мерзлотных режимах Арктического региона до настоящего времени остается не реализованной в силу ряда объективных и субъективных факторов. Площади этой культуры в реестре кормовых угодий остается крайне низкой при высокой мотивации расширения посевов возделывания. Подобное связано с тотальным проявлением мерзлотных режимов в системе почва-растение (Еловская, 1987; Куликов, 1997; Десяткин, 2009, 2019; Будажапов, 2023; Иванов и др., 2024).

Подсолнечник (*Helianthus annuus*) относится к семейству Астровых (*Asteraceae* L.) или сложноцветных (*Compositae* L.), полиморфному роду *Helianthus*. По классификации К. Хейзера (США), род *Helianthus* включает 68 многолетних и однолетних видов и в различных классификациях к этому роду относили от 50 до 264 видов (Есепчук и др., 1992). Подсолнечник культурный подразделяется на два подвида: культурный посевной и культурный декоративный (Пустовойт, 1975; Вавилов, 1983; Посыпанов, 2006; Коломейченко, 2007).

Согласно классическим оценкам (Вавилов и др., 1986) в онтогенезе подсолнечника по морфологическим признакам выделяют следующие основные фазы развития: всходы, первая пара настоящих листьев, образования соцветия (корзина), цветение и созревание с продолжительностью вегетационного периода 75-140 дней. Подсолнечник представляет собой однолетник, стебель прямостоячий, грубый, покрыт жесткими волосяным покровом. Высота подсолнечника варьирует от 0,6 м (карликовая форма) до 2.5 м силосное направление. До фазы образования корзинки рост стебля происходит относительно медленно и после этой фазы скорость роста значительно возрастает, позволяя хорошо конкурировать с сорной растительностью (Васильев, 1990). Листья подсолнечника простые, черешковые, без прилистников, шершавые, сверху

покрытые короткими жесткими волосками. На растениях среднеранних гибридов 20-30 листьев, на растениях среднеспелых сортов и гибридов насчитывается от 30 до 40 листьев, а на позднеспелых формах 40-70 листьев. При этом основная масса листьев увеличивается до цветения. Соцветие у подсолнечника представлено многоцветковой корзинкой, состоящей из крупного цветоложа, по внешнему краю которой расположены в несколько рядов зеленые листочки. По краям корзинки размещены крупные бесполое язычковые цветки оранжево-желтой окраски. Цветки трубчатого типа, обоеполые и заполняют всю корзинку. Цветение корзинки длится 7-10 дней. Подсолнечник является перекрёстноопыляющимся растением (Лакисов, 2022). Опыление на 99% обеспечивается насекомыми. Плод - сжатой яйцевидная семянка с четырьмя не явно выраженными гранями. Состоит из семени - ядро с тонкой семенной оболочкой и кожистого плотного жесткого околоплодника (кожуры или лузги), не сросшегося с ядром. Масса 1000 семян 40 - 125 г. Корневая система у подсолнечника мощная с большим количеством вторичных боковых корней. Причем первый ярус на глубине 10-20 см, второй - 20-45 см и третий - 45-80 см, которые сначала располагаются почти параллельно поверхности почвы на 30-40 см от главного корня, а затем заглубляются и растут вертикально вглубь до 120-150 и более см (Синягин, 1966; Морозов, 1978; Куперман, 1969, 1973; Васильев, 1983, 1990; Посыпанов и др., 1997; Третьяков и др., 2002; Посыпанов, 2006).

Биологически подсолнечник сформировался в условиях с континентального климата. В процессе длительной эволюции приобрел типичные свойства степного экотипа - хорошо приспособлен к длительному периоду засухи и высоким температурам (Ягодин, 1934; Holk et al., 1990). За счет мощной корневой системы устойчив к засушливым условиям и способна проникать до трех и более метров в глубину. По мнению А.И. Бараева (1988) во влажных почвенных условиях корни развиваются ближе к поверхности почвы, а при устойчивой сухой погоде - проникают глубже. По требовательности к теплу в период прорастания семян подсолнечник относят к культурам среднего срока сева. У подсолнечника высокие

требования климатическим условиям произрастания, так как от температуры почвы напрямую зависят сроки появления всходов.

Подсолнечник - растение умеренного климата. Сумма температур выше 10°C за вегетацию для скороспелых сортов и гибридов составляет 1400-1850°C, средне- и позднеспелых - 2000 - 2300°C. Из общего количества тепла 62% приходится на период от всходов до цветения, семена начинают прорастать при температуре почвы +4-5°C (более 20 дней). Энергичное прорастание семян и появление быстрых и равномерных всходов (на 12-14-й день) наблюдается при устойчивом прогревании посевного слоя почвы до +10 - 12°C и накоплении суммы активных температур около 117-120°C. В период появления всходов растения подсолнечника могут переносить кратковременные заморозки до минус 4 - 5°C (Морозов, 1978; Васильев, 1983; Посыпанов, 2007).

Подсолнечник требователен к влаге, но обладает высокой засухоустойчивостью благодаря хорошо развитой корневой системе, способен переносить значительное обезвоживание тканей и при засухе быстро восстанавливает тургор листьев в ночное время. За период вегетации одно растение расходует более 200 л воды и суммарное водопотребление составляет 3200-5000 т/га. Подсолнечник расходует влагу неравномерно. Благодаря корневой системе, проникающей в почву на глубину более 3 м, подсолнечник отличается засухоустойчивостью. Растения способны использовать влагу из глубоких слоев почвы, которая недоступна для других однолетних растений. Транспирационный коэффициент подсолнечника 500-700 (Васильев, 1983; Третьяков, 2002; Солодовников и др., 2020).

Подсолнечник - светолюбивое растение. Затенение и пасмурная погода задерживают рост и развитие растений, способствуя формированию мелких листьев, что приводит к снижению урожайности. Подсолнечник относится к растениям короткого дня и с продвижением на север вегетационный период удлиняется. Лучшими предшественниками для подсолнечника являются озимые зерновые, а также кукуруза, возделываемая на силос (Андрюхов, 1975; Борисоник, 1985; Шпаар, 1999). Лучшими почвами для подсолнечника являются черноземы,

каштановые и аллювиальные почвы речных пойм. Малопригодными почвами считаются кислые, заболоченные, легкие песчаные и солонцеватые почвы.

Первые посевы подсолнечника в земледелии Якутии в производственных условиях отмечены с 1954 г., где площадь посевов достигала 172 га. При изучении способов посева выявлено преимущество широкорядного посева перед квадратно-гнездовыми. Сокращение периода вегетации компенсировали густотой стояния растений, подняв норму высева семян с обычных 15-20 кг при широкорядном способе до 35-40 кг/га. В этом случае урожайность возросла при посеве широкорядно до 255 ц/га (Попов, 1987).

Исследования Г.И. Конюхов и др. (1971), В.А. Сухов (1972) позволили установить посевы в условиях богары-5-15 июня, при орошении 1-5 июня.

По данным Б.И. Иванова и др., (1980) продолжительность межфазных периодов в богарных условиях от посева до всходов - 8-15 дней, от всходов до образования корзинки - 42-52 дня и от образования корзинки до массового цветения - 16-30 дней.

По мнению В.А. Шестаковой (1981) на орошаемом участке вегетационный период на 2-3 продолжительнее, чем на неорошаемом. Продуктивность подсолнечника при орошении увеличивается в 1.9 - 2-3 раза.

Исследования Л.С. Ивановой (1977-1980 гг.) установлена высокая эффективность удобрений на посевах подсолнечника при поливе. На фоне $N_{90}P_{90}$ фосфорные удобрения увеличивали урожай от 90 и 180 кг/га. Урожайность зеленой массы при этом возрастала до 268 ц/га, а на фоне $N_{90}P_{90}$ повышение доз азотных от 60 до 180 кг/га подняло урожайность до 316 ц/га с урожаем на контроле 160 ц/га (Иванова, Попов, 1982, 1983)

По данным Павловой С.А. и др. (2017, 2018) культура подсолнечник может обеспечивать более 50% потребностей в сочных, витаминных и концентрированных кормах за счет расширения посевов.

Согласно оценкам Е.С. Пестеревой и др., (2016, 2017) урожайность однолетних кормовых культур составила подсолнечник - 38.1 т/га, кукуруза - 32.9, просо - 20.7, редька масличная - 24.0 суданская трава - 21.3 т/га зеленой массы.

Урожайность в богарных условиях достигнута: кукурузы (13.1 т/га) и подсолнечника (23.2 т/га) с междурядьем 30 см, редьки масличной (13.4 т/га), просо (5.6 т/га) с междурядьем 15 см, и суданской травы (8.2 т/га).

Исследования и практический опыт Е.А. Больдисова с соавторами (2017) доказали позитивную отзывчивость подсолнечника на применение удобрений (Авдонин, 1972; Агафонов и др., 1998; Кашукоев, 2014; Нарушев, 2020).

Доказано неравномерное потребление подсолнечником в период вегетации элементов питания. Азот до образования цветков накапливается в листьях и стеблях, а с появлением бутонов - в корзинках. Основная часть азота и фосфора растение использует до фазы цветения, когда идет активное формирование вегетативной массы и корневой системы. Калий поглощается растением в течение всего периода вегетации, но наиболее интенсивно - до наступления фазы цветения (Nenko, 2016). Выявлен наибольший урожай подсолнечник при площади питания одного растения около 2000 см², т.е. примерно 50 тыс. растений/га. Сокращение ширины междурядий до 60 или 45 см снижает урожайность семян, а расширение ширины междурядий до 90 см или 105 см оказывало положительного влияния на урожай подсолнечника только на засоренных полях в районах недостаточного увлажнения (Буряков, 1983; Васильев, 1983; Шевелуха, 1986).

Посев семян в оптимальные сроки определяет получение дружных всходов культуры и дальнейший рост, и развитие растений. Запоздывание со сроками посева (при температуре слоя почвы на глубине 10 см 16 - 18°C) резко снижает урожайность подсолнечника (Белевцев, 1990).

По мнению А.Г. Субботина (2013), для выбора способа посева и ширины междурядий в первую очередь нужно учитывать морфологию растений. При равной густоте стояния растений урожайность подсолнечника при междурядьях 70 и 45 см была в среднем за три года 2.60 и 2.82 т/га соответственно (Вронских и др., 1988).

Согласно В.С. Пустовойта (1975) при междурядьях 70 см увеличение густоты стояния сортов и гибридов с 40-50 до 60-70 тыс. шт. /га приводило к снижению

урожайности. При междурядье 45 см урожайность сортов падала, у гибридов повышалась.

3.1. Теоретическое обоснование урожаев

Современные оценки теоретического (расчётный) и технологического (производственный) уровня урожая базируются на общепризнанных классических принципах программирования, (десять принципов по два блока) разработанных и научной школой И.С. Шатилова (Шатилов и др., 1982; Каюмов, 1989). Именно этот подход позволяет выстроить теоретические предпосылки получения урожая полевых культур и выявить практический уровень урожая при наличии целого спектра лимитирующих факторов. В этом обеспечении, оценка потенциальных и реальных возможностей возделывания подсолнечника в жестких мерзлотных режимах Республики Саха (Якутия) представляется наиболее мотивированной. Ранее никогда подобные попытки в этом регионе не предпринимались.

Урожай этой культуры при возделывании на мерзлотных почвах до последнего времени оставался как результат совокупного воздействия целого ряда случайных факторов в отсутствии надежных теоретических предпосылок. В этой связи, предпринята попытка выстроить вертикаль разных уровней и категорий урожаев подсолнечника при возделывании на мерзлотных почвах с привлечением концепции десяти принципов, разработанных И.С. Шатиловым (1982).

На этом основании рассчитаны категории урожаев, которые обеспечиваются в идеальных условиях (ПУ), а также с учетом лимитирующих факторов (ДВУ) и технологических ограничений (УП). В этом подходе впервые обоснована теоретическая возможность и доказана практика получения урожая подсолнечника на мерзлотных почвах этого региона.

На основе общепринятых оценок по обоснованию разных уровней урожая (Шатилов и др., 1980) рассчитан урожай подсолнечника, который может обеспечиваться на мерзлотной дерново-луговой почве в идеальных условиях и с учетом лимитирующих факторов. Соответственно, величина потенциального урожая (ПУ) подсолнечника достигала 447.5 ц при последующем снижении по

тепловым и водным ресурсам (ДВУ) до 363.1 ц/га (табл.9). Причем в расчетах теоретического уровня урожая, различия в величине потенциального на вариантах с орошением и без орошения (богара) не имели различий, при наличии существенных различий в ДВУ по лимитирующим факторам тепла и влагообеспеченности.

Подобное связано с тем, что потенциальный урожай (ПУ) определяется приходом ФАР, величина которой постоянна для широты распространения мерзлотного земледелия в этом регионе и не превышает за май-август месяцы 1112 МДж/м². Как следствие, теоретические обоснованные категории урожаев (ПУ/ДВУ) отражают достаточно высокий потенциал возделывания этой теплолюбивой культуры на зеленую массу в мерзлотных условиях (табл.9).

Таблица 9 - Теоретический и технологический уровень урожая подсолнечника на мерзлотных почвах, ц/га (расчетная оценка)

Уровни и категории урожаев (зеленая масса)		Аллювиальная дерновая почва			Дерново- луговая почва	
		сроки посева (декада июня)				
		I -VI	II - VI	III -VI	I - VI	II - VI
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

Технологический или производственный уровень урожая подсолнечника на зеленую массу снижался по изучаемым почвам и признакам оценки (табл.9). Величина урожая в этом случае расчетов снижалась в ряду: урожай за счет плодородия почв → урожай в полевых опытах → урожай производственный.

Причем, величина урожая по фону орошения и без полива имели значимые различия и оказались выше на поливных участках, независимо от сроков посева (табл.9). Урожай зеленой массы подсолнечника в реальных условиях возделывания следует ожидать без орошения не более 150-170 ц и при орошении 200-300 ц. В результате этой оценки, впервые обоснована возможность получения урожая подсолнечника в критических условиях мерзлотного земледелия.

При этом, величина урожая в теоретических уровнях определений не имели существенных различий по срокам посева. Различия проявились в оценках урожая подсолнечника по почвенному плодородию и в производственных условиях. При этом, урожай подсолнечника снижался заметно и в производственных реалиях мерзлотных режимов на мерзлотной аллювиальной дерновой почве следует ожидать 200 - 300 ц и на мерзлотной дерново-луговой почве - 150 - 170 ц/га.

Как следствие, ранжирование урожая подсолнечника в теоретическом и технологическом обосновании на мерзлотных почвах подтвердила классический постулат снижения урожаев от идеальных к производственным условиям (Шатилов и др., 1975, 1982; Каюмов, 1989; Будажапов, 2019б).

3.2. Статистики урожая и сопряженность с абиотическими факторами

Урожай подсолнечника на изучаемых мерзлотных почвах складывался различно и определялся внесением минеральных удобрений, режимом орошения и варьированием календарными датами посева (табл.10).

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) и небольшой величине варьирования (табл.10, приложение 3).

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. Урожай

подсолнечника при внесении минеральных удобрений складывался достоверно выше контрольного.

На мерзлотной аллювиальной дерновой почве статистики урожая подсолнечника 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.10). 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 (приложение 4).

Таблица 10 - 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 дерново-луговой почве статистики урожая подсолнечника 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 подсолнечника 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.10, приложение 5).

Корреляционный анализ парных признаков позволил выявить разную сопряженность урожая подсолнечника с факторами внешней среды.

На мерзлотной лугово-черноземной почве урожай подсолнечника при орошении на варианте контроль и при внесении минерального удобрения (NPK_{90}), их теснота находились в высокой ($r > 0.78$) и значимой тесноте связей ($t_{\text{ф}} > t_{\text{ст}}$) 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 NPK_{120} .

Несколько иная панорама парных корреляционных зависимостей (r) выявлена на мерзлотной дерново - луговой почве в богарных режимах (без орошения). Во всех случаях, независимо от сроков посева, высокая и статистически значимая ($t_{\text{ф}} > t_{\text{ст}}$) 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.

3.3. Фенологические фазы и кинетика роста растений

Развитие растений подсолнечника в мерзлотных режимах имело специфические характеристики (табл.11).

Установлено медленное наступление и прохождение основных 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 мерзлотном регионе (табл.11).

Таблица 11 - Фенологические фазы развития и фитометрия подсолнечника на мерзлотных почвах по вариантам опытов

Варианты опытов			Показатели высоты по фенофазам, см				
			фаза всходы	3-4 пары листьев	бутон.- ция	образов. соцвет.	цвете- ние
мерзлотная лугово-черноземная почва (код опыта ПС-1. У/О)							
контроль без удобрений	схема посева междурядий, см	30	3.1	24.5	54.1	74.0	140.0
		60	3.0	28.3	51.2	78.2	144.0
NPK ₉₀		30	3.2	30.6	60.6	100.2	173.0
		60	3.0	28.2	55.8	111.4	177.0
NPK ₁₂₀		30	3.1	29.1	59.2	90.1	181.0
		60	3.3	28.1	57.0	91.6	184.0
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (код опыта ПС-2. У/О)							
июнь	I декада	3.1	29.0	88.0	135.7	176.3	
	II декада	3.2	27.6	64.0	117.7	172.7	
	III декада	3.3	25.8	44.3	101.3	157.3	
мерзлотная дерново-луговая почва (код опыта ПС-3. У/О)							
июнь	I декада	3.2	25.1	71.4	90.2	139.0	
	II декада	3.1	24.2	54.2	88.6	131.0	

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. Фитометрия подсолнечника по нарастанию зеленой массы в период всходы - образование 3-4 пары листьев, независимо от вариантов опыта, по всем почвам и признакам оценки, находилась в пределах сопоставимых и близких величин, составляя соответственно по всходам в среднем не выше 3.3 см, а в фазе 3-4 пары листьев не выше 30.6 см.

Наибольшие различия высоты растений проявились в фазе бутонизации, которые отражали активный рост и развитие растений подсолнечника с различиями по вариантам и признакам оценки. В последующие периоды изменение высоты растений оказалось не столь выраженным и к моменту уборки зеленой массы подсолнечника (фаза цветения) высота растений достигала наибольших показателей (табл.11). Отметить, низкую высоту подсолнечника в богарных условиях и в отсутствии применения удобрений, которая к моменту уборки оказалась наименьшей и не превышала 131 см (табл.11).

В целом, оценка изменения параметров высоты растений подсолнечника в динамике в период онтогенеза на мерзлотных почвах представлено впервые, в т.ч. под нагрузкой минеральных удобрений, разных сроков посева и режимов орошения. Доказанные различия в фитометрии растений подсолнечника наиболее рельефно проявляются под влиянием орошения и минеральных удобрений, которые способствуют наибольшему нарастанию зеленой массы.

Несмотря на усеченный формат прохождения фенологических фаз растениями подсолнечника в мерзлотных режимах, кинетические характеристики нарастания зеленой массы, независимо от вариантов и признаков оценки, по всем изучаемым мерзлотным почвам отражали достаточно высокие скоростные параметры (табл.12). Независимо от этих изучаемых признаков, кинетика роста растений подсолнечника в этих режимах оказалась высокой, константа (k) скорости которой достигала $k = 0.876 - 0.969$ в сутки. (табл.12).

Подобное отражает высокую кинетику роста растений при невысоких фитометрических показателях роста растений. Однако, высокие кинетические параметры роста не обеспечивали адекватное изменение высоты растений. На наш взгляд, подобное является специфическим критерием роста и развития подсолнечника при доминировании холода и выраженном дефиците тепловых ресурсов. Во всех случаях, характер нарастания зеленой массы подсолнечника этих специфических мерзлотных режимах подчинялся уравнению экспоненциальной регрессии, отражая активное нарастание зеленой массы в период бутонизации.

Подобная оценка представлена впервые для этих условий и отражает активные кинетические проявления, даже при наличии лимитирующих рост абиотических факторов (табл.12).

Таблица 12 - Модели изменения высоты (h, см) и кинетика роста растений (k) подсолнечника по вариантам опытов

Варианты опытов			Показатели высоты по фенофазам, см	
			модели регрессии (t - фактор времени, сутки)	константа (k) скорости роста
мерзлотная лугово-черноземная почва (код опыта ПС-1. У/О)				
контроль, без удобрений	схема посева междурядий, см	30	$h = 2.385 e^{0.879 t}$	0.879 в сутки
		60	$h = 2.493 e^{0.876 t}$	0.876 в сутки
NPK ₉₀		30	$h = 2.431 e^{0.929 t}$	0.929 в сутки
		60	$h = 2.251 e^{0.953 t}$	0.953 в сутки
NPK ₁₂₀		30	$h = 2.342 e^{0.933 t}$	0.933 в сутки
		60	$h = 2.265 e^{0.941 t}$	0.941 в сутки
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (код опыта ПС-2. У/О)				
июнь	I декада	$h = 2.455 e^{0.969 t}$	0.969 в сутки	
	II декада	$h = 2.298 e^{0.956 t}$	0.956 в сутки	
	III декада	$h = 2.175 e^{0.928 t}$	0.928 в сутки	
мерзлотная дерново-луговая почва (код опыта ПС-3. У/О)				
июнь	I декада	$h = 2.503 e^{0.895 t}$	0.895 в сутки	
	II декада	$h = 2.392 e^{0.885 t}$	0.885 в сутки	

Особо отметим, высокую константу (k) скорости роста подсолнечника на зеленую массу на вариантах с внесением минеральных удобрений (NPK) и при орошении, величина которых по этим признакам была наибольшей и находилось в диапазоне величин $k = 0.969 - 0.929$ в сутки (табл.12).

Последнее подтверждает факт позитивного влияния минеральных удобрений и орошения на формирование зеленой массы подсолнечника в жестких мерзлотных и гидротермических режимах в Республике Саха (Якутия).

Таким образом, активное прохождение растениями подсолнечника фенологических фаз на мерзлотных лугово-черноземных, аллювиально дерновых и дерново-луговых почвах наблюдалось в период бутонизации и цветения. В этот период кинетические характеристики этого процесса, обеспечивали высокую продуктивность этой культуры даже при дефиците тепловых ресурсов.

3.4. Энергетические и кормовые достоинства

Общепризнанные риски возделывания подсолнечника на мерзлотных почвах при постоянном доминировании холодных воздушных масс дефиците тепла нивелируется, главным образом, изменениям энергетического статуса системы почва - растение. Ранее в отношении ключевой значимости энергетического состояния доказано работами ряда авторов (Замараев и др., 2005; Савич и др., 2007, 2010а, б, 2016; Соколов и др., 2020; Галеев и др., 2020; Будажапов и др., 2022, 2023). Соответственно этому, в этих критических для подсолнечника гидротермических режимах функционирования, получение урожая зеленой массы обеспечивалось возрастанием энергетического состояния посевов при поступлении извне дополнительных источников энергии в виде минеральных удобрений и орошения с подбором наиболее оптимальных календарных сроков посева. Отсюда, высокая мотивированность оценки энергетических параметров посевов подсолнечника при возделывании на мерзлотных почвах представляется наиболее значимым. Результативность оценок по изменению энергетического статуса посевов подсолнечника позволила выявить ряд ключевых позиций.

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) (табл.13).

В этом смысле, наиболее яркая панорама энергетических изменений наблюдалась на мерзлотной лугово-черноземной почве при внесении минеральных удобрений в условиях орошения. 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 вариантом контроль (73.1 - 76.3 ГДж) с меньшими изменениями показателей обменной энергии (табл.13).

Таблица 13 - 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 посева междурядий, 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
Энергетический коэффициент 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).

Изменение энергетического статуса посевов подсолнечника обеспечивалось внесением минеральных удобрений и сопровождалось значимым возрастанием урожая (табл.10) и изменением кормовых достоинств (табл.14).

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 (приложение 6). При изменении энергетического статуса посевов под нагрузкой минеральных удобрений наблюдалось увеличение содержания переваримого протеина до 115 г против 93 г на контроле.

Таблица 14 - 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 посева междурядий, 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 в-во	0.59	0.60	0.63	0.61	0.62	0.63
переваримый протеин, г		93	95	105	110	112	115

НСР₀₅ протеин 2.0; клетчатка 3.2; жир 0.02; зола 0.03; БЭВ 3.0; корм. ед. 0.02; пер. прот. 3.2

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) (табл. 15).

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.

Незначительные изменения энергетического статуса не сопровождалось адекватным изменением кормовых достоинств зеленой массы подсолнечника по всем параметрам оценки. Независимо от условий увлажнения и сроков посева подсолнечника практически все основные показатели находились в пределах близких величин (табл. 16) и не имели статистических различий.

Таблица 15 - Энергетическая оценка посевов подсолнечника
при разных сроках посева и режимах увлажнения на мерзлотных почвах

Параметры оценки (при орошении)	Ед. изм.	Аллювиальная дерновая			Дерново-луговая	
		с орошением			без орошения	
		сроки посева (декада месяц)				
		I-VI	II-VI	III-VI	I-VI	II-VI
Затраты совокупной энергии	<u>ГДж</u> га	31.5	31.8	28.8	22.6	21.9
Валовая энергия		107.8	108.2	61.6	59.0	80.2
Обменная энергия		48.8	48.6	28.7	26.0	35.9
Приращение валовой энергии		72.7	73.1	30.7	34.3	55.7
Энергетический коэффициент		3.31	3.30	2.07	2.52	3.55
Энергоемкость, ц	ГДж	0.82	0.83	1.40	1.14	0.81
Энергетический коэффициент производства кормов		1.57	1.56	0.98	1.18	1.68

При этом, различные сроки посева не оказали существенного влияния на показатели и состояние энергетического статуса. Под влиянием орошения, как источника энергии, основные показатели энергетического статуса посевов были значительно выше, особенно по показателям валовой и обменной энергии, а также по приращению первого параметра и энергетического коэффициента.

Исключением в этой оценке оказался вариант позднего срока посева (третья декада июня) при орошении. В этом случае, показатели энергетического статуса посевов были сопоставимы с богарными условиями. Как следствие, высокое энергетическое состояние посевов подсолнечника на этих почвах при орошении сопровождалось возрастанием энергетического коэффициента производства кормов при меньшей их энергоёмкости (табл.15).

Таким образом, возрастание энергетического статуса посевов подсолнечника под влиянием орошения на мерзлотных аллювиальной дерновой и дерново-луговой почвах обеспечивал адекватно высокий урожай зеленой массы подсолнечника при посеве в ранние сроки (первая и вторая декада июня), а в отсутствии орошения - урожай складывался достоверно ниже. Различия в отклике энергетического состояния посевов подсолнечника на мерзлотных аллювиальной дерновой и дерново-луговой почвах проявились в меньшей степени при оценке кормовых достоинств зелёной массы (табл. 16). Независимо от изучаемых признаков (орошение, сроки посева) содержание сырого протеина находилось в пределах в сопоставимых и близких величин 14.8-16.1%.

Таблица 16 - Кормовые достоинства зеленой массы подсолнечника при разных режимах увлажнения и сроках посева на мерзлотных почвах

Параметры оценки (по сырому веществу)		Аллювиальная дерновая			Дерново-луговая	
		с орошением			без орошения	
		сроки посева (декада - месяц)				
		I-VI	II-VI	III-VI	I-VI	II-VI
протеин	% на абс. сух. в-во	15.0	15.6	16.1	14.8	15.0
клетчатка		34.5	34.7	32.9	35.4	34.9
жир		2.7	2.8	2.7	2.5	2.4
зола		6.5	6.7	6.1	7.4	7.2
БЭВ		41.2	40.1	42.1	39.8	40.3
кормовая единица	кг/сух в-во	0.61	0.61	0.65	0.58	0.59
переваримый протеин, г		103	108	113	101	103

НСР₀₅ протеин 1.4; клетчатка 2.8; жир 0.02; зола 0.02; БЭВ 2.6; корм. ед. 0.01; пер. протеин 3.4

Аналогичная панорама наблюдалась по содержанию клетчатки, жира и БЭВ, по которым различия в их содержании при орошении и богарных режимах не наблюдались. Соответственно, содержание зеленой массы подсолнечника в мерзлотной аллювиально дерновой почве составила кормовых единиц от 0.61 до 0.65, переваримого протеина от 103 до 113 г, которые находились в пределах близких и сопоставимых показателей (табл.16, приложение 7,8).

На мерзлотной дерново-луговой почве показатели кормовых достоинств зеленой массы подсолнечника достигли по двум срокам посева, в первой и второй декаде июня сырого протеина 14.8-15.0 %, жира 2.4-2.5 %, 0.58-0.59 кормовых единиц, переваримого протеина 101 и 103 г. По-видимому, в отсутствии применения минеральных удобрений, разный режим орошения и различные сроки посева не оказали существенного влияния на изменение кормовых достоинств зеленой массы.

В этом отклике, подобное не стало исключением из общепринятой практики оценок для регионов Сибири (Будажаров, 2019б; Гамзиков и др., 2020; Андроханов и др., 2022). Низкое энергетическое состояние посевов подсолнечника на этих мерзлотных почвах, особенно в богарных условиях сопровождалось значимо меньшим урожаем без увеличения кормовой ценности продукции.

3.5. Экономический эффект возделывания

Высокая результативность исследований позволяет констатировать минимальные экономические риски возделывания подсолнечника в мерзлотном земледелии при высокой маржинальности зеленой массы с высоким уровнем рентабельности.

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.) с условно чистым доходом 45410 руб/га ($NP_{K_{120}}$), показатель рентабельности оказался высоким и достигал 87% (табл.17). При этом, 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 производства - 48 - 53%.

Таблица 17 - Экономическая оценка возделывания подсолнечника на мерзлотных почвах по разным вариантам опытов (зеленая масса)

Код опытов и варианты оценки				Продук- тивность	Стои- мость продук- ции	Прямые затраты	Услов- но чистый доход	Рента- бель- ность
				к.ед. 1 га	руб / га			%
мерзлотная лугово-черноземная почва (минеральные удобрения и орошение)								
ПС-1. У/О	контроль, без удобрений	схема посева между- рядий, 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	

Аналогично высокий уровень рентабельности выявлен при посеве подсолнечника в первой и второй декаде июня на мерзлотной аллювиальной дерновой почве, уровень рентабельности достигал 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.

На мерзлотной дерново-луговой почве без орошения лучшим вариантом оказался посев подсолнечника в первой декаде июня при стоимости продукции 62376 руб/га, с условно чистым доходом 22357 руб/га, при рентабельности 55% (табл.17). Высокий экономический эффект возделывания подсолнечника наблюдался при посеве в первой-второй декаде июня в отсутствии орошения - рентабельность производства составила 17-55% (табл.17).

Оценка конкурентоспособности подсолнечника при возделывании на зеленую массу при доказанных энергетических и кормовых достоинствах на товарном рынке кормов через показатель равновесной урожайности представляется одним из современных подходов к оценке экономического эффекта агротехнологических приемов (табл.18).

Таблица 18 - Конкурентная способность подсолнечника
и вклад в покрытие постоянных издержек на мерзлотной почве

Варианты опытов			Урожай, ц/га	Стоимость продукции, руб	ВППИ, руб/га	РУ, ц/га
мерзлотная лугово-черноземная почва (код опыта ПС-1. У/О)						
контроль без удобрений	схема посева междурядий, см	30	260.1	59823	19330	48
		60	270.9	62307	21636	53
NPK ₉₀		30	373.8	85974	37122	76
		60	390.4	89792	40673	83
NPK ₁₂₀		30	400.6	92138	40690	79
		60	422.7	97221	45410	87
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (код опыта ПС-2. У/О)						
июнь	I декада		382.5	87975	38981	79
	II декада		385.4	88642	39355	80
	III декада		204,6	47058	497	1
мерзлотная дерново-луговая почва (код опыта ПС-3. У/О)						
июнь	I декада		271.2	62376	22357	55
	II декада		199.0	45770	6692	17

Конкурентоспособность вытекает из отношения ВППИ (вклад в покрытие постоянных издержек) оцениваемой культуры или технологии к ВППИ конкурирующих. ВППИ равен разности между стоимостью реализованной продукции и величиной переменных издержек (Шпаар и др., 2008).

Результат выражается в денежных единицах на единицу площади. Соответственно максимальный ВППИ свидетельствует о преимуществе данной культуры или технологии возделывания в использовании ограниченных факторов производства. Однако конкурентоспособность или относительное преимущество можно определять не только путем прямого сравнения ВППИ, но и на основе определения равновесной урожайности (РУ).

Возделывание подсолнечника на лугово-черноземной мерзлотной почве более эффективно при внесении полного минерального удобрения с междурядьем 60 см, где вклад в покрытие постоянных издержек составил 40690 руб/га и по равновесной урожайности оказался максимальным. 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) (табл. 18).

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 (NPK_{120}) 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.

Заключение

Теоретическое обоснование урожаев, разработка и реализация агротехнологических мероприятий возделывания подсолнечника на мерзлотных почвах позволило раскрыть возможности урожая этой культуры в виде сочных кормов с высококачественными кормовыми и энергетически насыщенными параметрами при снижении экономических рисков введения этой культуры в земледелие при дефиците тепловых ресурсов. Предложена новая парадигма к оценке урожая подсолнечника по критериям кинетических, энергетических, кормовых и экономических обоснований, без которых риски возделывания в земледелии Субарктической провинции остаются высокими.

Статистическим анализом доказана решающая значимость внесения минеральных удобрений, орошения и посева в первой декаде июня в получении устойчиво высоких урожаев подсолнечника. При этом, урожай обеспечивался высокой ($r > 0.78$) и достоверной ($t_{\phi} > t_{st}$) теснотой связи с температурами воздуха в период бутонизации и образование соцветий и поддерживался высокими кинетическими характеристикам роста ($k = 0.876 - 0.953$ в сутки) при значительном возрастании энергетического статуса посевов, особенно в части приращения валовой энергии и энергетического коэффициента. Как следствие, выявлено повышение кормовых достоинств.

Экономический эффект возделывания подсолнечника в этих агротехнологических решениях оказался высоким на всех мерзлотных почвах и достигал 48 - 87% при высокой продуктивности к. ед с 1 га и условно чистом доходе. В этих параметрах оценки предполагаемые высокие риски возделывания подсолнечника на мерзлотных почвах не имеют оснований для масштабирования этой ценной кормовой культуры в земледелии этого региона. При этом, через показатели ВППИ и равновесную урожайность доказана высокая конкурентная способность возделывания подсолнечника на зеленую массу. Выявлен ряд ключевых позиций, которые в совокупности расширяют понимание специфических закономерностей возделывания этой культуры в этом регионе.

ГЛАВА 4. УРОЖАЙ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ И ОЦЕНКА РИСКОВ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ: СТАТИСТИКИ, КОРМОВАЯ ЦЕННОСТЬ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

При всех рисках возделывания суданской травы (*Sorghum sudanense* L.) в мерзлотных режимах попытки активного включения этой культуры в реестр полноценных кормовых культур представляет достаточно мотивированную позицию. Последнее связано с результатами отдельных авторов в краткосрочных исследованиях, которые служат сигнальным маркером по дальнейшему обоснованию и включению суданской травы в полноценный набор кормов.

По систематике Н.Н. Цвелева (1976) суданка относится к семейству злаки - *Poaceae* Barnh. (*Graminaceae* yuss. nom. altern) роду сорго (*Sorghum* Pens.). Ботаническое название - *Sorghum sudanense* (Piper.) Stahf. Подробное ботаническое описание суданской травы дается в работах П.П. Вавилова (1984) и многих других ученых. Стебель суданской травы хорошо облиственный, цилиндрический, гладкий, окрашен, как правило, в светло-зеленый цвет, а в сухое и жаркое время покрывается восковым налетом, придающим белесый оттенок. По высоте стебля различают растения низкорослые (до 150 см), среднерослые (150-225 см) и высокорослые (225-350 см и более), а по толщине стебля в нижних междоузлиях - тонкостебельные (менее 5 мм), среднестебельные (5-8 мм) и толстостебельные (более 8 мм) (Елсуков и др., 1951).

Суданская трава различается по форме куста, который может быть прямостоячим, слабораскидистым, раскидистым, полулежачим и лежачим. Сорта с прямостоячими или слабораскидистыми кустами используются на сено, сенаж, силос, а сорта с раскидистыми кустами лучше использовать на пастбищных участках (Елсуков и др., 1951; Акимова, 1954). От сортовых особенностей куста зависит и хозяйственное использование посевов. Лист суданской травы гладкий, голый, поникающий, края слегка шершавые. Главная жилка хорошо развита - на верхней поверхности она образует белую полосу, а на нижней выступает в форме

киля. Форма листа суданской травы широколинейная, длиной 45-60 см, шириной 4-4,5 см (Шатилов и др., 1981).

Суданская трава относится к растениям C_4 - типа фиксации диоксида углерода, т.е. дикарбонатным циклом фиксации CO_2 . Путь углерода в фотосинтезе осуществляется через четырех-углеродистые соединения - органические кислоты (C_4) - цикл Хетча и Слэка, открытый австралийскими учеными М.Д. Хетчем и К.Р. Слэком (1966). Соцветие - многоколосковая метелка пирамидально-яйцевидной формы, прямая или несколько развесистая, различной длины от 25 до 40 и более см (Шатилов и др., 1981).

Суданская трава относится к перекрестно-опыляемым растениям и в неблагоприятную погоду цветки не раскрываются, и возможно, самоопыление (Соловьев, 1975). Плод суданской травы - зерновка, имеющая обратно-яйцевидной формы. Семена имеют разнообразную окраску от светло-желтой до черной (Смирнов, 1951). Семена суданской травы разделяют по массе 1000 зерен на мелкосемянные - массой менее 10 г, среднесемянные - от 10 до 15 г и крупnoseмянные - более 15 г (Елсуков и др., 1951; Соловьев, 1975). Корневая система у суданской травы мочковатая, развивается из корневой шейки и состоит из многочисленных сильноветвящихся корневых тяжей (Посыпанов, 1993).

Суданская трава - теплолюбивое растение, оптимальная температура прорастания семян $20-30^{\circ}C$. Минимальная температура для прорастания семян находится в пределах $+8...10^{\circ}C$, оптимальная в пределах $20...30^{\circ}C$, а максимум $35-42^{\circ}C$. Эти показатели в значительной мере характеризуют ее экологическую пластичность и определяют районы распространения (Соловьев, 1975). По мнению ряда ученых (Елсуков, 1955, 1967; Сапрыкин, 1974; Соловьев, 1975; Шатилов и др., 1981, Суворов, 1986; Бикбулатов, 1997) для полноценного созревания семян ей требуется сумма активных температур от 2200 до $3000^{\circ}C$. Для завершения полного цикла развития (от семени до семени) требуется общая сумма положительных температур от $1500^{\circ}C$ до $2000^{\circ}C$ для скороспелых и от 2000 - $3000^{\circ}C$ для средне- и позднеспелых сортов. При возделывании на зеленый корм количество суммы положительных температур уменьшается до $950^{\circ}C$ для скороспелых и до $1500^{\circ}C$

для позднеспелых генотипов. Возможности возделывания скороспелых и холодостойких сортов суданской травы в регионах, где сумма эффективных температур составляет не менее 1600°C. Засухоустойчивость обусловлена главным образом мощно развитой корневой системой. Транспирационный коэффициент составляет - 340. Обладая высокой засухоустойчивостью, отзывчива на дополнительное увлажнение: при орошении за 2-3 укоса формирует 50-60 т/га зеленой массы (Вавилов и др., 1986; Щукис, 2013; Дубенок, 2014; Сидоров, 2014). И.С. Шатилов, А.П. Мовсисянц, И.А. Драненко (1981) считают, что эта культура отличается нейтральной реакцией на продолжительность светового дня. Суданскую траву можно использовать в качестве подсевной культуры, благодаря способности переносить затенение от всходов до кущения (Шишова, 2018). По мнению А.С. Акимовой (1954), суданская трава хорошо использует плодородие почв и влагу, но не выносит избыточного увлажнения. Достаточно высокий урожай суданская трава обеспечивает при выращивании на осушенных торфяниках (Шатилов и др., 1981). Не подходят сильно засоленные, увлажненные и легкие песчаные почвы, а также сильно уплотненные почвы (Canarache et al., 1984).

В земледелии Якутии суданская трава пришла в 80-х годах XX столетия. По результатам научных опытов Н.Т. Попова (1987) возделывание суданской травы показали не перспективность культуры в условиях мерзлотных почв.

Основными районами выращивания суданской травы считаются Северный Кавказ, Крым, Центральная Черноземная зона, среднее и нижнее Поволжье. При этом, северная граница выращивания практически совпадает с границей возделывания кукурузы на зерно. Применение прогрессивных агротехнических приемов обеспечивает устойчивые урожаи надземной биомассы и семян в нетрадиционных зонах возделывания (Сапрыкин, 1974; Суворов, 1986; Бикбулатов, 1997). По данным Е.А. Сальниковой (2016) всходы у суданской травы появились через 2 недели после посева. Кущение отмечалось на 20-25-й день после появления всходов, через 20-25 дней наступила фаза выхода в трубку. Укосной спелости достигла на 65-70-й день. В период уборки суданская трава достигла в фазу выметывания. Урожайность суданской травы в одновидовом посеве в горно-

степной зоне составляет 11.8 т/га, а в смешанных - 16.2-21.7 т/га зеленой массы (Сальникова, 2021). По кормовым качествам зеленая масса сильно изменяется в зависимости от фазы развития. По мере роста и развития количество переваримого протеина - наиболее ценной части корма - уменьшается и увеличивается содержание клетчатки. Высокую урожайность дает в фазу выбрасывания метелки-цветения. Уборку рекомендуется проводить в фазу выметывания (Алабушев и др., 2019; Троц, 2010; Ковтунова, 2018а; Uzun et.al., 2019).

Исследованиями ряда авторов также установлена высокая отзывчивость культуры на удобрения: внесение $N_{30}P_{90}K_{60}$ обеспечивало урожай зеленой массы суданской травы 110 т/ га. Дробное внесение азотных удобрений способствовало получению за 4 укоса 132 т/ га зеленой массы (Кружилин, 1997; Мардваев, 2008; Дедова, 2012; Ковтунова и др., 2016, 2018б; Дронова, 2019; Артемьев и др., 2021; Galeev et al., 2022). Сорго-суданковые гибриды чувствительны к низким температурам и заморозкам.

Многие исследователи (Елсуков и др., 1951; Шатилов, 1981; Исаков, 1982; Abd El-Lattief, 2011; Tagarakis, 2017) отмечают, что сорговые, в том числе и суданская трава, предъявляет высокие требования к термическому режиму в период посев - всходы. При температуре воздуха $-1^{\circ}C$ наступает гибель растений.

Суданскую траву относят к поздним яровым культурам минимальная температура для прорастания $+10...+12^{\circ}C$, оптимальная - $+20...+25^{\circ}C$ (Соловьёв, 1975; Кереев, 1975; Шатилов, 1981; Кашеваров, 2004; Савина и др., 2016). При уборке в фазе молочно-восковой спелости урожайность зеленой массы при обычном рядовом способе посева составил 29.9 т/га, а при широкорядном способе посева - 24.5 т/га (Кадычегова, 2014; АнтимONOва и др., 2018; Лаптина, 2019; Андреева, 2020; Mardvayev, 2019). Данные исследований А. А. Никитина и С. И. Коконова (2021), за четыре года фотосинтетический потенциал в опыте кормовой культуры суданской травы составил 825-1224 тыс. $m^2 \times \text{сут./га}$. Чистая продуктивность фотосинтеза в опыте в среднем за 2013-2016 гг. находилась в пределах от 3.58 до 3.85 $г/м^2 \times \text{сут.}$

4.1. Теоретическое обоснование урожаев

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. Теоретическая обоснованность включения суданской травы в структуру земледелия в этом регионе базируется на высоких потенциальных возможностях культуры с последующей оценкой продуктивности в ярко выраженных мерзлотных режимах.

В этой связи, впервые предпринята попытка по оценке теоретического и технологического уровня урожая суданской травы на основе общепризнанных рекомендаций (Шатилов и др., 1980) в приложении к мерзлотным режимам.

Впервые для мерзлотного земледелия обоснована возможность получения урожая зеленой массы суданской травы на мерзлотных почвах. Согласно теоретическим подходам, обоснованная возможность получения урожая суданской травы на мерзлотных почвах по величине потенциального урожая определялась на уровне 273.3 ц/га (табл.19). При выраженном дефиците тепла величина действительно возможного урожая снижалась значительно и находилась в интервале 209.5 - 221.3 ц/га с наибольшей величиной урожая при посеве во второй декаде июня. В производственном уровне расчетная величина урожая суданской травы достигала 100 - 180 ц/га. Причем, лучший срок посева суданской травы на мерзлотных почвах в этой оценке определялся как первая декада июня.

На мерзлотной аллювиальной дерновой почве выступала первая декада июня (I-VI) с наименьшей величин урожая при посеве в третьей декаде июня (III-VI) (табл.19). Теоретическое обоснование разных уровней урожая суданской травы позволило предпринять попытку верификации этих теоретических расчетов для реальных условий полевого опыта (табл.19). В целом, теоретическая основа для реализации последнего подтвердила классическую вертикаль ранжирования разных категорий урожаев от идеальных до реальных условий производства. В этом восприятии, ранжирование урожаев суданской травы обеспечивалось известными подходами в виде двух блоков (Шатилов, 1981), в каждом из которых выделяются несколько категорий урожаев.

Таблица 19 - Теоретический и технологический уровень урожая суданской травы на мерзлотной аллювиальной дерновой почве, ц/га (расчетная оценка)

Уровни и категории урожаев (зеленая масса)		Показатели по срокам посева (декада июня)		
		I - VI	II -VI	III - VI
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

Наши подходы подтверждают оправданность такого подхода оценок при введении в культуру земледелия суданской травы на мерзлотных почвах. Аналогичных подходов мнения придерживаются ряд авторов в Европейской части (Соловьев, 1975; Шатилов, 1985; Каюмов, 1989; Карпенко, 1995) в т.ч. в Западной и Восточной Сибири (Кшнякин, 1983; Галеев, 2020; Полюдина и др., 2002; Кашеваров и др., 2004; Будажапов и др., 2022). К сожалению, в земледелии

Республики Саха (Якутия) подобные оценки по ранжированию разных уровней урожаев отсутствуют и представлены впервые.

4.2. Статистики урожая и сопряженность с абиотическими факторами

Результативность многолетних исследований по оценке возможностей возделывания этой культуры с высокими кормовыми достоинствами на мерзлотных почвах Республики Саха (Якутия) оказалась оправданным. Подобное обусловлено рядом объективных сопутствующих факторов, среди которых наблюдаемый общий трек потепления климата приводил к минимальным технологическим рискам возделывания этой культуры в жестких мерзлотных режимах. В недалёком прошлом (середина 80-х годов XX столетия) возделывание культуры суданской травы на мерзлотных почвах было признано не результативной (Попов, 1987).

Традиционная технология возделывания суданской травы на сочные корма (зеленая масса) на мерзлотных почвах в условиях орошения с внесением полного минерального удобрения оказалась высокоэффективной.

Фактический урожай суданской травы на контрольном варианте оказался адекватным расчетному и в среднем не превышал 190.2 ± 12.8 ц/га с узким интервалом лимитов с небольшой величиной варьирования (табл.20). При внесении минеральных удобрений (NPK) урожай зеленой массы суданской травы возрастал существенно, доказывая высокую отзывчивость растений на поступление извне дополнительных источников энергии в виде минеральных удобрений (табл.20, приложение 9,10).

Под влиянием минеральных удобрений урожай суданской травы достоверно превышал контрольный вариант и в среднем достигал 248.2 ± 11.1 ц/га с высокой величиной верхнего лимита (268.6 ц/га) при высокой устойчивости величин (табл.20). 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.

В другом полевом 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/га) при небольшой вариабельности (табл.20). Достоверно низкий урожай суданской травы (185.3 ц/га) выявлен при посеве в третьей декаде июня (поздний срок посева). Статистически доказанные различия в урожае зеленой массы суданской травы на мерзлотных почвах находились в высокой тесноте связи (r) с абиотическими факторами.

Таблица 20 - 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 между- рядий, 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 и 30 см 18.6; орошение 27.5

На мерзлотной лугово-черноземной почве контрольного варианта (без удобрений) высокая теснота связей ($r > 0.70$) урожая суданской травы 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 ($r \rightarrow 1$). Аналогично высокая и очень высокая теснота урожая суданской травы от этих абиотических факторов установлена на вариантах с внесением минеральных удобрений (NPK), по которым их теснота находилась в интервале от высокой ($r > 0.75$) и очень высокой ($r = 0.90 - 0.98$) до функциональной ($r \rightarrow 1$). Соответственно, урожай суданской травы при внесении минеральных удобрений был наибольшим (табл.20). На мерзлотной аллювиальной дерновой почве в отличие от этих корреляционных связей, теснота этих признаков по разным срокам посева оказались не столь выраженными и их сопряженность с температурами воздуха оказалась высокой только при посеве в третьей декаде июня, а по осадкам - во второй декаде июня. 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.

Таким образом, наличие объективных рисков возделывания суданской травы в земледелии мерзлотных режимов нивелируется технологическими приемами возделывания - подбор лучших сроков посева и внесением полного минерального удобрения в качестве основного на фоне общего трека потепления климата за последние десятилетия. На наш взгляд, эти ключевые признаки в достаточной степени нивелируют жесткие гидротермические условия и обеспечивают удовлетворительное развитие растений с высокой кинетикой роста. Как результат, урожай зеленой массы суданской травы вполне адекватно отражал высокий потенциал культуры даже в мерзлотных режимах и возможности возделывания на кормовые цели на мерзлотных почвах. Последнее подтвердилось и результатами корреляционного анализа.

4.3. Фенологические фазы и кинетика роста растений

Суданская трава является типичным теплолюбивым представителем растением короткого светового дня (Лаптина и др., 2021; Ковтун и др., 2023). Причем, у этой группы растений ростовые процессы, и значительное нарастание

зеленой массы обеспечивается процессом фотосинтеза по несколько иному пути в классическом понимании (Якушкин, 1953; Ковалев, 2004; Бацазова, 2020; Коконов и др., 2021). Соответственно, несомненный интерес представляла оценка изменения фитометрических показателей роста растений суданской травы по основным фенологическим фазам и вариантам полевого опыта (табл.21). На мерзлотных почвах, независимо от различий в плодородии и уровня залегания холодного экрана мерзлоты в их профиле, растения суданской травы при орошении проходили общепризнанные фенологические фазы роста и развития с различиями в сроках и периодом их прохождения по фазам до активного цветения - уборка растений на зеленую массу.

Таблица 21 - Фенологические фазы развития и фитометрия суданской травы при орошении по вариантам опытов

Варианты опытов			Показатели высоты по фенофазам, см				
			фаза всходы	кущени е	трубко- вание	выметы- вание	цвете- ние
мерзлотная лугово-черноземная почва (код опыта СТР-1. У/О)							
контроль, без удобрений	схема посева междурядий, см	15	2.2	30.0	62.0	140.0	160.2
		30	2.1	28.0	61.0	136.0	154.0
NPK ₉₀		15	3.6	41.0	73.0	162.0	186.0
		30	3.3	38.0	65.0	154.0	172.0
NPK ₁₂₀		15	3.8	45.0	77.0	172.0	200.0
		30	3.4	39.0	68.0	162.0	184.0
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (код опыта СТР-2. У/О)							
июнь	I декада	3.5	42.0	73.0	160.0	184.0	
	II декада	3.6	44.0	78.0	168.0	192.0	
	III декада	3.3	32.0	56.0	130.0	160.2	

По всем фенологическим фазам развития, высота растений, по выборочной средней, в каждом определении находилась в пределах сопоставимых величин и

достигала при внесении удобрений (NPK) в фазе всходов 3.8 см, кущения 45 см, трубкования 77 см, выметывания 172 см и к цветению достигала 200 см (табл.21).

Алогичность возделывания суданской травы на мерзлотной лугово-черноземной почве предопределила прохождение фенологических фаз роста и развития. Растения суданской травы проходили характерные фенологические фазы с различиями в датах наступления и в фитометрических проявлениях по высоте растений. Различия последних выявлены по высоте растений (h , см) по фазам их развития, различия которых не во всех случаях оказались статистически доказанными. К моменту уборки высота растений суданской травы на варианте контроль (без удобрений) не превышала 154-160 см, а под влиянием вносимых минеральных удобрений (NPK) достигала 200 см, отражая для мерзлотной провинции фитометрию растений (табл. 21). Схожая панорама фенологических и фитометрических характеристик наблюдались на мерзлотной аллювиальной дерновой почве при орошении.

Подобная направленность изменения высоты растений суданской травы отражала крайне слабое и медленное прохождение фенологических фаз в мерзлотных режимах с активными темпами роста только в период трубкования - выметывания. Именно в этот период, характер нарастания надземной массы у растений суданской травы отмечался активным процессом функции экспоненты (табл.20). Как следствие, кинетика роста растений суданской травы на мерзлотных почвах оказалась высокой, которая обеспечивалась активным и быстрым нарастанием, особенно в период трубкования - выметывания. Отсюда, характер нарастания зеленой массы и изменение высоты растений суданской травы аппроксимировался регрессионной функцией экспоненты с высокими и очень высокими кинетическими константами - k (табл.22). В этом определении минимальная кинетика нарастания зеленой массы суданской травы составила $k = 0.900$ в сутки.

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 (табл. 22).

В мерзлотных почвах при выраженном дефиците энергетических источников и наличии жестких лимитирующих факторов, растения суданской травы при поступлении извне дополнительных источников энергии в виде минеральных удобрений и орошения, стремятся нивелировать эти негативные стресс-факторы за счет высокой кинетической активности на ростовых процессах под воздействием этих внешних источников энергии (Савич и др., 2010; Будажапов, 2019).

Таблица 22 - Модели изменения высоты (h , см) и кинетика роста растений (k) суданской травы по вариантам опытов

Варианты опытов			Показатели высоты по фенофазам, см	
			модели регрессии (t - фактор времени,сутки)	константа (k) скорости роста
мерзлотная лугово-черноземная почва (код опыта СТР-1. У/О)				
контроль, без удобрений	схема посева междурядий, см	30	$h = 2.411 e^{0.950 t}$	0.950 в сутки
		60	$h = 2.366 e^{0.946 t}$	0.946 в сутки
NPK ₉₀		30	$h = 2.704 e^{0.963 t}$	0.963 в сутки
		60	$h = 2.638 e^{0.900 t}$	0.900 в сутки
NPK ₁₂₀		30	$h = 2.765 e^{0.974 t}$	0.974 в сутки
		60	$h = 2.611 e^{0.966 t}$	0.966 в сутки
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (код опыта СТР-2. У/О)				
июнь	I декада	$h = 2.752 e^{0.957 t}$	0.957 в сутки	
	II декада	$h = 2.793 e^{0.966 t}$	0.966 в сутки	
	III декада	$h = 2.458 e^{0.936 t}$	0.936 в сутки	

В этой оценке влияние сроков посева и внесение минеральных удобрений в условиях орошения на различия в кинетике роста растений суданской травы не выявлено, которые находились на уровне контрольного варианта (табл.22). В

отсутствии этих кинетических различий, урожай зеленой массы суданской травы по вариантам опыта тем не менее складывался различно.

Теоретическое обоснование уровней и категорий урожая суданской травы на мерзлотных почвах подтверждает возможность получения высоких урожаев с устойчивым прохождением основных фенологических фаз развития при высокой кинетике ростовых процессов. Внесение минеральных удобрений вкупе с орошением способствовало нивелированию гидротермических режимов, обеспечивая активный рост растений и нарастание зеленой массы.

4.4. Энергетические и кормовые достоинства

Общепризнанный постулат ключевой значимости энергетического состояния посевов в получении урожаев полевых культур, в т.ч. в экстремальных режимах, в полной мере применим и в оценках ожидаемого урожая зеленой массы суданской травы в мерзлотных режимах этого региона (Шатилов и др., 1981; Замараев и др., 2005; Савич и др., 2010; Кадоркина и др., 2019; Дробышев, 2019). Принципиально подобная позиция обусловлена тем, что в отсутствии высокого энергетического статуса получение продукции практически невозможно, тем более в мерзлотных режимах. Подобное должно обеспечиваться, в первую очередь, высоким энергетическим состоянием посевов за счет дополнительного поступления извне энергетических источников, таких как минеральные удобрения и орошение. В этом смысле, возделывание суданской травы служит одним из примеров практической реализации оценок по отклику энергетического состояния растений при наличии для этой культуры критических стресс-факторов. Соответственно этому, предпринята попытка оценить изменение энергетических ресурсов в посевах суданской травы, возделываемой на мерзлотных почвах при внесении минеральных удобрений по фону орошения (табл. 23).

При возделывании суданской травы на мерзлотной лугово-черноземной почве под влиянием вносимых 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 (табл.23).

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. Отсюда, высокое энергетическое состояние посевов суданской травы под влиянием вносимых минеральных удобрений (табл.23) сопровождалось значимо высоким урожаем (табл.19).

Таблица 23 - 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 посева междурядий, см					
		15	30	15	30	15	30
Затраты совокупной энергии	<u>ГДж</u> 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
Энергетический коэффициент производства кормов		1.63	1.55	1.65	1.55	1.63	1.51

Изменение энергетического состояния посевов выступало одним из индикаторов получения высокого урожая суданской травы в мерзлотных режимах региона. Незначительное возрастание энергетического коэффициента производства кормов (1.51 до 1.65) обусловлено затратами энергии в виде минеральных удобрений. Ранее схожие энергетические характеристики выявлены на мерзлотных почвах под посевами многолетних трав в естественном и культурном травостое (Павлова, 2022).

В отличие от этих энергетических оценок на лугово-черноземной мерзлотной почве (табл.23) выявлена иная панорама отклика энергетического состояния суданской травы на мерзлотной аллювиальной дерновой почве при подборе лучших календарных сроков посева в мерзлотных режимах в условиях орошения (табл.24). Схожая направленность изменения энергетического статуса посевов и кормовых достоинств суданской травы наблюдалась на мерзлотной аллювиальной дерновой почве (табл. 24).

Таблица 24 - Энергетическая оценка посевов суданской травы
при разных сроках посева на мерзлотной почве

Параметры оценки	Ед. изм.	Аллювиальная дерновая почва		
		сроки посева (декада - июнь)		
		I декада	II декада	III декада
Затраты совокупной энергии	$\frac{\text{ГДж}}{\text{га}}$	28.4	28.7	27.9
Валовая энергия		100.2	101.3	77.5
Обменная энергия		47.1	47.2	36.1
Приращение валовой энергии		71.8	72.6	49.6
Энергетический коэффициент		3.53	3.53	2.78
Энергоемкость, ц	ГДж	0.12	0.12	0.15
Энергетический коэффициент производства кормов		1.66	1.65	1.29

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.

Практически равные затраты совокупной энергии при трех разных сроках посева суданской травы сопровождалось незначительным изменением энергетического статуса посевов по показателям валовой и обменной энергии (табл.24), а равно приращением валовой энергии при ранних сроках посева (I-VI и

II-VI июня) в сравнении с поздним сроком (III-VI).

В последнем случае все параметры в оценке энергетического состояния посевов оказались значительно ниже аналогичных в сравнении с ранними сроками посева (табл.24). При позднем сроке посева также отмечался достоверно низкий урожай суданской травы, и наоборот, возрастание энергетических характеристик при ранних сроках посева сопровождалось достоверно высоким урожаем этой культуры.

Возрастание энергетического состояния посевов и урожая суданской травы под влиянием вносимых минеральных удобрений, особенно в случае внесения (NPK) сопровождалось позитивным изменением кормовых достоинств зеленой массы этой кормовой культуры (табл.25). Содержание сырого протеина значимо возрастало в сравнении с вариантом контроль (без удобрений) и достигало 18.7% при устойчивом содержании клетчатки, жира и БЭВ (табл.25).

Таблица 25 - 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 посева междурядий, 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 в-во	0.61	0.60	0.62	0.62	0.63	0.62
переваримый протеин, г		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; корм. ед. 0.02; пер. прот. 3.1

Позитивность возрастания кормовой ценности зеленой массы суданской травы при возделывании на мерзлотной лугово-черноземной почве выявлена по увеличению показателя переваримого протеина, содержание которого при

внесении минеральных удобрений (NPK_{120}) возрастало существенно в сравнении с контрольным вариантом и достигало 144.1 г (табл.25, приложение 11). Отметим стабильное и устойчивое содержание показателей 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 стабильных показателях содержания клетчатки, жира, золы и БЭВ. Значимые различия проявились при посеве суданской травы в третьей декаде июня при достоверно высоком содержании переваримого протеина и кормовых единиц.

В отличие от этих характеристик в результате возделывания суданской травы, кормовые достоинства этой культуры на мерзлотной аллювиальной дерновой почве складывались иначе (табл.26).

Таблица 26 - Кормовая ценность зеленой массы суданской травы при разных сроках посева на мерзлотных почвах при орошении

Параметры оценки (по сырому веществу)		Аллювиальная дерновая почва		
		сроки посева (декада - месяц)		
		I-VI	II-VI	III-VI
протеин	%	15.0	15.6	16.1
клетчатка		34.5	34.7	32.9
жир		2.7	2.8	2.7
зола		6.5	6.7	6.1
БЭВ		41.2	40.1	42.1
кормовая единица	кг/сух в-во	0.61	0.61	0.65
переваримый протеин, г		103	108	113

НСР₀₅ протеин 3.2; клетчатка 3.8; жир 0.01; зола 0.02; БЭВ 4.8; корм. ед. 0.01; пер. протеин 5.2

По всем трем разным календарным срокам посева суданской травы, присутствие основных показателей качественных характеристик кормов оставалось без статистически доказанных изменений и находилось по каждому параметру в пределах равных и сопоставимых величин (табл.26). На варианте с

поздним сроком посева (третья декада июня) статистики урожая оказались значительно ниже ранних сроков. При сопоставимых энергетических затратах (табл.24) кормовые достоинства оставались устойчивыми, независимо от различий в сроках посева (табл.26). Отсюда, риски возделывания суданской травы на этой мерзлотной почве снижаются при ранних сроках посева, а кормовые и энергетические ресурсы остаются устойчивыми при любых вариантах по срокам посева.

4.5. Экономический эффект возделывания

Введение в реестр кормовых культур суданской травы в земледелие этого мерзлотного региона, несмотря на достигнутые результаты, предполагает обоснованность и экономических решений. В этом смысле, риски экономического эффекта возделывания суданской травы на мерзлотных почвах априори подразумеваются вполне оправданными. Тем не менее, эти предположения реализуются в полной мере на основании классической оценки экономического эффекта (табл.27) и современной оценки конкурентоспособности урожая в условиях рынка (табл.28).

Возделывание суданской травы на мерзлотной лугово-черноземной почве при орошении и внесении минеральных удобрений с позиций экономической обоснованности возделывания в мерзлотном земледелии позволяет констатировать экономическую эффективность агротехнологических приемов. Показатель рентабельности возделывания суданской травы при дефиците тепловых ресурсов и доминировании холода достигала 32% (табл.27).

В результате анализа экономической эффективности возделывания суданской травы на лугово-черноземной мерзлотной почве высокие показатели получены на варианте внесения удобрений NPK_{90} с междурядьями 15 см, продуктивность которой составила 2356 к.ед. при стоимости продукции 59575 руб/га с условно чистым доходом 14461 руб/га и рентабельностью 32% (табл.27).

На мерзлотной аллювиальной дерновой почве при орошении лучшим сроком оказался вариант с посевом во второй декаде июня при стоимости продукции 60575

руб/га прямые затраты составили 45431 руб/га с условно чистым доходом 15144 руб/га и рентабельностью 33%.

Соответственно этим подходам, эффективность возделывания суданской травы на мерзлотных почвах в общепринятом восприятии демонстрирует обнадеживающую позицию (табл.27).

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.27).

Таблица 27 - Экономическая оценка возделывания суданской травы на мерзлотных почвах по вариантам опытов при орошении, (зеленая масса)

Код опытов и варианты оценки				Продук- тивность	Стои- мость продук- ции	Прямые затраты	Услов- но чистый доход	Рен- та- бель- ность	
				к.ед. с 1га	руб / га			%	
мерзлотная лугово-черноземная почва (минеральные удобрения)									
СТР-1. У/О	контроль, без удобрений	схема посева между- рядий, 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	

Последнее наиболее ярко реализовано на лугово-черноземной мерзлотной почве, где показатель рентабельности возделывания суданской травы, независимо

от вариантов опыта, находился в диапазоне 22-32 % при высоких значениях условно чистого дохода с внесением полного минерального удобрения, составляя в денежном эквиваленте 10594-14611 руб/га.

Прямые затраты на производство продукции по всем вариантам исследований, в т.ч. на контроле, находились в пределах низких величин при относительно меньших затратах на контрольном. Отсюда, продуктивность суданской травы по выходу кормовых единиц с 1 га оказалась наибольшей при внесении полного минерального удобрения и находилась в пределах 2170-2356 к.ед., превышая контрольный вариант (табл.27).

Схожая панорама экономической эффективности возделывания суданской травы выявлена на дерново-аллювиальной мерзлотной почве в условиях орошения при ранних сроках посева - первая и вторая декада июня

Таблица 28 - Конкурентная способность суданской травы и вклад в покрытие постоянных издержек на мерзлотных почвах

Варианты опыта			Урожай, ц/га	Стоимость продукции, руб	ВППИ, руб/ га	РУ, ц/га
мерзлотная лугово-черноземная почва (код опыта СТР-1. У/О)						
контроль, без удобрений	схема посева междурядий, см	15	190.2	43746	5907	-
		30	180.4	41492	3814	165.1
NPK ₉₀		15	238.4	59575	14461	180.5
		30	222.2	55550	10700	179.4
NPK ₁₂₀		15	248.2	62050	14611	189.8
		30	231.0	57750	10594	188.6
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (код опыта СТР-2. У/О)						
июнь	I декада	239.5	59875	14735	-	
	II декада	242.3	60575	15144	181.7	
	III декада	185.3	46325	1586	179.0	

В случае позднего посева этой культуры (третья декада июня) рентабельность получения урожая оказалась чрезвычайно низкой и находилась в

пределах 4% с наименьшим в реестре всех изучаемых вариантов условно чистого дохода (1586 руб/га) при сопоставимых прямых затратах (44739 - 45431 руб/га) с другими вариантами и как следствие с меньшей продуктивностью по выходу кормовых единиц с 1 га (3445).

На этом основании ожидаемые экономические риски возделывания суданской травы на этих мерзлотных почвах при внесении минеральных удобрений и ранних сроках посева оказались минимальными. Ранее аналогичные предположения закреплены в статистике урожая и энергетическом отклике возделывания суданской травы на мерзлотных почвах.

Помимо этих классических оценок экономической эффективности возделывания суданской травы (табл.27), несомненный интерес представляла оценка конкурентной способности урожая этой культуры в условиях рынка по вкладу в покрытие постоянных издержек (ВППИ) через определение величины равновесной урожайности (табл.28). Как следствие, возделывание суданской травы на типичных мерзлотных почвах этого региона при внесении минеральных удобрений в условиях орошения и в сочетании лучших сроков посева обеспечивает высокую конкурентность урожая (табл. 28).

Конкурентоспособность вытекает из отношения ВППИ (вклад в покрытие постоянных издержек) оцениваемой культуры или технологии к ВППИ конкурирующих. ВППИ равен разности между стоимостью реализованной продукции и величиной переменных издержек (Шпаар и др., 2008). Однако конкурентоспособность или относительное преимущество можно определять не только путем прямого сравнения ВППИ, но и на основе определения равновесной урожайности (РУ). По уровню РУ определяют, насколько надо повысить урожай сравниваемой культуры, чтобы она могла конкурировать с основной возделываемой в зоне культурой.

Подобное рассмотрение, на наш взгляд, в этих условиях является более приоритетным, т.к. представляет комплексную оценку на экономические риски с поправкой на конкурентность продукции в условиях рынка. Ранее подобные заключения в этом арктическом регионе никогда не предпринимались.

Значительную прибавку по вкладу в покрытие постоянных издержек оказывает внесение полного минерального удобрения, а увеличение междурядий с 15 до 30 см ведёт к снижению экономических показателей. При возделывании суданской травы лучшие показатели экономической оценки складывались при внесении минерального удобрения (NPK_{120}) при орошении с шириной междурядий 15 см (табл.28). В этом случае вклад в покрытие постоянных издержек составил 14611 руб/га при равновесной урожайности 189.8 ц/га соответственно.

Лучшим и наиболее эффективным календарным сроком посева суданской травы на типичных мерзлотных почвах Республики Саха (Якутия) по результатам многолетних исследований следует считать вторую декаду июня. Преимущество этой установленной даты посева по вкладу в покрытия постоянных издержек (ВППИ) составило по отношению к первой дате посева 409 руб/га и к третьей дате посева 13149 руб/га (табл.28).

Возделывание суданской травы на мерзлотных почвах при внесении минеральных удобрений, орошении и в сочетании лучших сроков посева обеспечивало и высокую конкурентность урожая. Подобное, по нашему мнению, обусловлено величиной высокого урожая, которая в этой оценке превышала показатель равновесной урожайности (РУ) с высоким показателем вклада в покрытие постоянных издержек (ВППИ).

Заключение

Агротехнологические приемы возделывания суданской травы в мерзлотном земледелии с устойчивым выходом кормов подтвердили возможность получения урожая при крайне неблагоприятных внешних факторах и доказать обоснованность нивелирования их комплексом агротехнологическими мероприятий. Алогичность введения этой теплолюбивой культуры в земледелие мерзлотных режимов для насыщения скудной кормовой базы оказалась резонной и вполне оправданной, в т.ч. и по экономическим обоснованиям.

На основании анализа обширного литературного массива и серии последовательных расчетных подходов впервые представлено теоретическое

обоснование урожая суданской травы в ярко выраженных мерзлотных условиях. Подобное никогда ранее не предпринималось. Статистики урожая суданской травы при посеве в лучшие календарные сроки (первая декада июня) с внесением минеральных туков (NPK_{90-120}) при орошении по выборочной средней достигал 248 ± 11.1 ц/га с высокими лимитами (230.3- 268.6 ц) при незначительной вариабельности. Выявлена высокая кинетика нарастания зеленой массы в этих режимах, константа (k) скорости которой достигала $k = 0.936 - 0.974$) в сутки.

Во всех случаях оценки, основными агротехнологическими приемами возделывания суданской травы на мерзлотных почвах выступали минеральные удобрения в сочетании с орошением и посевом в первой декаде июня при высокой тесноте связей ($r > 0.7$) с гидротермическими факторами.

В результате этих мероприятий доказано возрастание энергетического состояния посевов, которое обеспечивало формирование высокого урожая суданской травы с высокими кормовыми достоинствами. По результатам экономической оценки доказаны минимальные экономические издержки возделывания кормовой культуры суданской травы. Высокий экономический эффект возделывания суданской травы на мерзлотных почвах вкупе с высоким энергетическим состоянием посевов и кормовыми достоинствами формирует новую панораму критериев оценки.

ГЛАВА 5. УРОЖАЙ КУКУРУЗЫ И СПЕЦИФИКА ВОЗДЕЛЫВАНИЯ: СТАТИСТИКИ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И КОРМОВЫЕ ДОСТОИНСТВА, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Одна из наиболее ярких и продуктивных однолетних кормовых культур в качестве зеленого корма и силосной массы представляла высокую мотивацию получения высокого урожая. В Республике Саха (Якутия) в этом позиционировании не стало исключением. Соответственно, реализация специфики технологических приемов возделывания однолетних кормовых культур на мерзлотных почвах позволяет значительно расширить реестр кормовых культур при существенном насыщении кормовой базы в этом регионе. Подобное обусловлено наличием скудной кормовой базы с дефицитом энергонасыщенных и высококачественных кормов, которая отражает одну из наиболее уязвимых позиций мерзлотного земледелия.

Согласно многочисленным описаний ботанического состава растений кукурузы (*Zea Mays L.*) относится к семейству Мятликовые (*Poaceae*), является однолетним, раздельнополым, перекрестноопыляющимся растением, относящимся к классу однодольных (Посыпанов, 1997; Шпаар, 1999; Бенц и др., 2001; Кашеваров и др., 2009; Ториков и др., 2018).

Стебель кукурузы толщиной 2 - 7 см, хорошо облиственный, прямостоячий, округлый, гладкий с высотой растений от 60 см до 6 м. Листья крупные, линейные, цельнокрайние в чередующемся порядке расположены по двум противоположным сторонам стебля. Число листьев на одном растении колеблется от 8 до 45. Облиственность зависит от скороспелости гибридов: раннеспелые имеют 10-12 листьев, среднеранние - 12-14, среднеспелые - 14-16, среднепоздние - 16-18 и позднеспелые - 18-20 листьев. На каждом растении кукурузы расположено два типа соцветий: мужское - метелка и женское - початки. Метелка состоит из центральной оси, которая является продолжением верхнего междоузлия и боковых осей. Колоски метелки двухцветковые с тремя пыльниками в цветке. Развитая метелка имеет 800-1200 колосков или 2-2.5 тысячи цветков (Забазный и др., 1977; Гасанов

и др., 1984; Гавриленко, 2003; Сотченко, 2008; Иванова, Нагудова, 2015; Гулидова и др., 2017). Початок состоит из оси соцветия (стержень), на котором попарно рядами размещаются колоски с женскими цветками (200-1000). На одном растении формируется 1-3 початка, наиболее развит верхний. Средняя масса початка 200-300 г. Кукуруза опыляется ветром.

Цветение метелки и початков на одном растении не совпадает: метелка зацветает на 3-8 дней раньше, обеспечивая перекрестное опыление. Плод кукурузы - зерновка, обычно голая и крупная. Масса 1000 семян у мелкосеменных сортов составляет 100-150 г, крупносеменных 300 - 400г. (Фирсов, 2005; Шпаар и др., 2009; Васин и др., 2009; Савельев, 2016; Моисеев и др., 2017; Клопов и др., 2017; Торики и др., 2018; Бельченко и др., 2018; Мельникова и др., 2019; Балакин и др., 2019; Торики и др., 2019; Засорина, 2019; Шпилев и др., 2020; Соколов и др., 2020; Дронов и др., 2020; Леонов, 2020; Пигорев, 2020).

Корневая система кукурузы мощная, мочковатая, многоярусная, сильноразветвлённая, на почвах с рыхлым подпахотным слоем способна проникать на глубину до 3 м, на черноземах - до 4 м. Радиус горизонтального распространения более 1-1.5 м. Основная масса корней расположена на глубине 30-60 см (Майсурян, 1970; Макаров и др., 1989; Куржиев, 2009; Коломейченко, 2015; Еремин и др., 2017; Сильванчук и др., 2018; Тютюнов и др., 2019).

Кукуруза очень требовательна к теплу с суммой эффективных температур не менее 900°. Нижний предел температуры определяет рост, а для завершения каждой стадии роста и развития общее количество тепла. Биологический минимум для прорастания семян 8-10°C. В фазе всходов и во время образования вегетативных органов растения этот показатель составляет 10-12°C. При образовании генеративных органов, цветении и созревании этот минимум составляет 12-15°C. Наиболее благоприятна для выращивания кукурузы температура днем 22-25°C, ночью +18°C. При температуре выше 30°C в период цветения нарушается оплодотворение и при заморозках 2-3°C повреждают всходы, но, если сохраняется точка роста, то растение отрастает (Шатилов, 1980;

Янбухтина, 1989; Сотченко, 2012; Шиндин, 2012; Куликов, 2015; Петрова и др., 2017).

Кукуруза относится к культурам, экономно расходующим влагу. Транспирационный коэффициент 160-360. Для прорастания кукурузы необходимо 42-45% влаги от массы семени. Растения кукурузы относительно хорошо переносят засуху до фазы 7-8 листьев. Наибольшее количество воды кукуруза потребляет в течение 30-дневного критического периода, который начинается за 10 дней до выметывания и заканчивается через 20 дней после выметывания. За это время расходуется 40-50% влаги от суммарного водопотребления за вегетационный период. По мнению исследователей опасность представляет не только почвенная, но и воздушная засуха, которая вызывает увядание растений, снижение интенсивности фотосинтеза и жизнеспособности пыльцы (Володарский, 1986; Шуравилин, 2010; Горбачева и др., 2014; Шпаар, 2014; Иванцова, 2016; Гулидова, 2017). Кукуруза не только теплолюбивая, но и светолубивая культура. Она относится к растениям короткого дня.

Для нормального роста и развития она требует не продолжительного, но интенсивного солнечного освещения. Оптимальная продолжительность светового дня для кукурузы - 12-14 часов. При продолжительном свете вегетация удлиняется (Карпилов, 1974; Золотов и др., 1994).

По оценкам ряда авторов требования к почве у кукурузы не очень высокие, но она весьма отзывчива на повышение уровня их плодородия и на внесение удобрений. Предпочитает рыхлые, воздухопроницаемые, чистые от сорняков почвы с глубоким гумусовым горизонтом, хорошо обеспеченные питательными веществами, имеющие pH 6-7 (Мишин, 1978; Симакин, 1983; Шпаар, 2009; Куликов, 2015; Ториков, 2017; Сабирова и др., 2018; Мельникова и др., 2019; Ториков и др., 2019; Тютюнов и др., 2019; Шпилев и др., 2020; Соколов и др., 2020; Russelle et al., 1981; Khaliq et al., 2004; Sun et al., 2015).

По мнению Торикова В.Е. и ряда авторов (2017), семена кукурузы нуждаются в хорошей аэрации при прорастании. Зародыши семян поглощают много кислорода. Высокие урожаи обеспечиваются при содержании кислорода в

почвенном воздухе не менее 18-20%. Рост средней площади листьев при улучшении условий питания растений кукурузы составляет 35-61% на варианте без удобрений и наибольший фотосинтетический потенциал получен при внесении удобрений на формирование урожайности 30 и 40 т/га зелёной массы 2.03-1.9 млн. м² сутки/га. При этом ЧПФ возрастала последовательно при каждом увеличении внесения минеральных удобрений и максимальная прибавка урожая кукурузы при улучшении питательного режима в фазе молочно-восковой спелости составила 20 т/га. Ученые, занимающиеся в течении многих лет изучением питания кукурузы, отмечают важную роль для роста и развития кукурузы калия.

В их исследованиях урожайность кукурузы в фазе молочно-восковой спелости в агрофитоценозе только азотно-фосфорных удобрений повышалась в среднем на 6.3 т/га, а при внесении NPK на 10.8 т/га. (Володарский, 1986; Минеев и др., 1993; Герасимов и др., 2013; Ториков и др., 2019; Пойда др., 2020; Малышева, Долгополова, 2021; Мамеев и др., 2021; Нестеренко и др., 2021; Fahrurrozi et al., 2019; Marchezan et al., 2020).

По данным Дадыкина В.П. (1954) и Корнилова Д.П. (1978), первые попытки возделывания кукурузы в Якутии начались весной в 1954 году группой местных ученых. В Мегино-Кангаласском районе на площади около 2 гектаров с двухкратной междурядной обработкой урожай кукурузы составил 244 ц/га зеленой массы. По данным В.П. Дадыкина (1954) Якутский филиал Академии наук СССР на своей Чочур-Муранской станции (1954) году провел ряд опытов с кукурузой на слабозасоленных почвах урожай зеленой массы кукурузы составила от 212 до 323 ц/га. На участке с внесением навоза 40 т/га, с двухкратным обильным поливом урожай зеленой массы кукурузы составил 471 ц/га.

По мнению авторов, фитометрия растений кукурузы достигла в высоту 2 - 2.5 м и отдельные достигали 3 м хорошо облиственными растениями. По данным авторов, на опытном поле кукуруза была посеяна квадратно-гнездовым способом на расстоянии 70х70 сантиметров с оставлением по 2-3-4 растения в гнезде. Растения кукурузы достигли в высоту 2 - 2.5 м и отдельные достигали 3 м хорошо

облиственными растениями. В удачные годы кукуруза в Ботаническом саду ЯФ давала урожай до 390 ц/га, в совхозе «Хатасский» в 1962 году от 60 до 340 ц/га.

В условиях близкого залегания вечной мерзлоты почвы - кукуруза развивает не только мощные надземные органы, но образует сильно развитую корневую систему, уходящую вглубь почвы до 80-90 сантиметров. Имея мощную корневую систему, кукуруза может хорошо использовать влагу из глубоких слоев почвы и это помогает переносить нередкую в регионе засуху. Испытывалась коллекция, насчитывающая 60 разнообразных сортов, от самых северных до самых южных. Эти сорта дали урожай зеленой массы от 221 до 275 центнеров с гектара. Результаты работ в период 1954 - 1958 гг. показали целесообразность внедрения этой силосной культуры на полях Якутии с возможностью обеспечения посевов собственными семенами (Дадыкин, 1954).

По данным Д.П. Корнилова (1978) в условиях теплого лета 1956 г. при оптимальном снабжении растений влагой и элементами почвенного питания посев кукурузы позволил получить 100 ц/га сухого органического вещества. При содержании воды в растениях кукурузы в период уборки на силос порядка 80-85% это соответствует 500-650 ц/га зеленой массы. Тем не менее, по мнению Н.Т. Попова (1987), низкая холодостойкость кукурузы и отсюда нестабильный урожай заставили производителей отказаться от возделывания этой ценной культуры на мерзлотных почвах.

По мнению многих авторов, высокие урожаи кукурузы дает при применении комплексных минеральных удобрений (Кушенов, 1998; Шиндин и др., 2012; Васин и др., 2018; Урунбаева и др., 2019; Моисеев и др., 2019; Гейдарова, 2020; Пискарева и др., 2021). Силосная масса кукурузы отличается хорошей переваримостью и обладает высокой кормовой ценностью.

По данным Ф.М. Купермана (1982), В.Г. Васина (2009) в 100 кг силоса из кукурузы в фазе молочно-восковой спелости содержится 21 - 28 к.ед. и до 1.8 кг переваримого протеина. Для повышения содержания белка в силосе к нему добавляют бобовые травы или кормовые бобы в смешанных уплотненных посевах.

5.1. Теоретическое обоснование урожая

При всей общепризнанной полифункциональности кукурузы, наличие крайне жестких абиотических стресс - факторов предопределяет целый спектр специфических рисков возделывания этой высокопродуктивной и теплолюбивой кормовой культуры в мерзлотных режимах. Соответственно, теоретическое обоснование урожая кукурузы разных уровней на мерзлотных почвах служит ключевой предпосылкой ее возделывания в качестве одной из ведущих кормовых культур на зеленую массу с применением технологических приемов по снижению неблагоприятного воздействия внешних условий.

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.29).

Таблица 29 - 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 - VI	II - VI	III - VI	I - VI	II - VI
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 технологическом уровне оценок урожай кукурузы снижался значительно и по показателям почвенного плодородия (УПП) мерзлотных почв и разным

календарным срокам посева находился в очень широком диапазоне величин - 159.6 - 339.6 ц/га (табл.29). В многолетних полевых стационарных опытах под влиянием агротехнологических приемов урожай кукурузы (УПО) в зависимости от разных сроков посева и орошения продолжал снижаться и определялся в широком диапазоне величин - 137.1 - 346.6 ц/га. В производственных посевах урожай продолжал снижаться значительно - до 110 ц без орошения и до 250 ц/га при орошении (табл.29). При этом, лучшим агротехнологическим сроком посева кукурузы выступала - первая декада июня. При выраженном дефиците тепловых ресурсов величина действительно возможного урожая на мерзлотной дерново-луговой почве без орошения находилась в интервале 363.1 - 371.4 ц/га с наибольшей величиной урожая при посеве во второй декаде июня. В технологическом (производственном) уровне урожаев расчетную величину урожая кукурузы следует ожидать в широком интервале величин 110 - 250 ц/га.

В подобном расчётном обосновании урожаев кукурузы, ранжирование величин на мерзлотных почвах снижалось от теоретического (ПУ → ДВУ) к технологическому уровню: УПП → УПО → УП (табл.29). В этом построении урожаев, подобное позволило выстроить «вертикаль» возможных урожаев кукурузы на зеленую массу в типичных режимах мерзлотного земледелия, которая представлена впервые в этом регионе.

Таким образом, теоретическое обоснование и технологическая платформа возделывания этой высокопродуктивной культуры на мерзлотных почвах с учетом основных лимитирующих урожай неблагоприятных факторов позволило выстроить научно-технологические подходы к снижению рисков возделывания в качестве кормовой культуры в типичных мерзлотных режимах Республики Саха (Якутия). Подобное обоснование является пионерским для земледелия региона и подтверждает классический постулат ранжированного снижения урожая кукурузы в ряду объективных лимитирующих факторов (Шатилов, 1980; Каюмов, 1989). Ранее подобная оценка и ранжирование факторов по влиянию на урожай для этой культуры никогда не проводилась.

5.2. Статистики урожая и сопряженность с абиотическими факторами

Статистические показатели (статистики) урожая кукурузы на зеленую массу (результативный признак) в мерзлотных режимах складывались различно и определялись откликом растений на разные агротехнологические приёмы возделывания и на абиотические факторы мерзлотного режима. Последние, представляют собой варианты опыта (удобрение и сроки посева) и признаки оценки (способ посева с разным междурядьем и три календарных срока посева).

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 урожая с небольшой вариабельностью (табл.30).

Таблица 30 - 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	

НCP₀₅ междурядье 30 см 26.4; 60 см 36.4; орошение 28.7; без орошения 39.5

Различия в дозах внесения полного минерального удобрения (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 величин (табл.30).

На мерзлотной аллювиальной дерновой почве статистики урожая статистики урожая при орошении оказались значимо ниже при позднем сроке посева (третья декада июня) и не превышали в среднем 137.1 ± 7.9 ц/га с узким интервалом лимитов (125.8 - 152.2 ц) (табл.30). При этом, 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. В этом случае, урожай кукурузы оказался статистически сопоставим с урожаем, который получен под влиянием внесения минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве. Отсюда, внесение полного минерального удобрения (NPK) на мерзлотной лугово-черноземной почве и посев кукурузы в лучшие агротехнологические сроки (I и II декада июня) на мерзлотной аллювиальной дерновой и дерново-луговой почвах имели сопоставимый эффект. В отсутствии орошения (богара) урожай зеленой массы кормовой культуры 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.30, приложение 12,13,14).

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.30) 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 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 вкупе 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 кукурузы по этим признакам возрастала значительно, особенно по осадкам в течении сезона и практически в каждой декаде 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.

5.3. Фенологические фазы и кинетика роста растений

Формирование урожая зелёной массы кукурузы обеспечивалось специфическими характеристиками изменения фотометрических показателей растений в процессе онтогенеза, которые на мерзлотных почвах имели несколько отличные параметры прохождения фенологических фаз. Специфика этих проявлений обусловлена, главным образом, постоянным доминированием холодных воздушных масс и дефицитом тепловых ресурсов с широкой амплитудой температур воздуха и почвы. Подобные оценки представлены рядом авторов (Куликов и др., 1997; Сысо и др., 2023; Васильев и др., 2024). По всем вариантам опыта и изучаемым признакам (разные междурядья, сроки посева и орошение) растения кукурузы, независимо от плодородия почв, проходили общепризнанную фенологию своего развития вплоть до момента фазы цветения - уборки (табл.31).

При этом различия по каждой из фенологических фаз, кроме всходов, определялись по высоте растений, которые в итоге формировали различия в получении урожая зеленой массы.

В этой оценке наибольшая высота растений кукурузы среди изучаемых вариантов и признаков оценки, наблюдалась на лугово-черноземной мерзлотной почве при внесении полного минерального удобрения (NPK_{120}), достигая в среднем 182.4 - 184.0 см при наименьшей высоте на варианте контроль - не более 135.8 см (табл.31).

Таблица 31 - Фенологические фазы развития и фитометрия кукурузы на мерзлотных почвах по вариантам опытов

Варианты опытов			Показатели высоты по фенофазам, см				
			фаза всходы	3-4 пар листьев	бутон -ция	образ. соцвет.	цвете- ние
мерзлотная лугово-черноземная почва (код опыта КК-1. У/О)							
контроль, без удобрений	схема посева междурядий, см	30	3.2	30.0	52.0	94.0	131.0
		60	3.1	28.2	53.6	92.2	135.8
NPK ₉₀		30	3.6	34.0	56.0	133.0	176.0
		60	3.5	31.0	55.5	142.5	173.0
NPK ₁₂₀		30	3.7	34.0	58.0	144.0	182.4
		60	3.6	28.0	56.5	148.5	184.0
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (код опыта КК-2. С/О)							
июнь	I декада		3.4	36.0	69.3	151.8	174.7
	II декада		3.2	31.0	51.7	143.7	178.7
	III декада		3.1	16.0	42.0	126.0	158.3
мерзлотная дерново-луговая почва (код опыта КК-3. С/БО)							
июнь	I декада		3.1	30.0	56.0	98.0	155.0
	II декада		3.0	28.0	49.0	91.0	148.0

Схожее изменение высоты растений и характер нарастания зеленой массы кукурузы наблюдался на мерзлотной аллювиальной дерновой почве под влиянием

орошения при раннем сроке посева (первая и вторая декада июня), составляя 174.7 - 178.7 см (табл.31). При более позднем посеве (третья декада июня) высота растений даже при орошении к моменту уборки не превышала 158.3 см. В отсутствии орошения высота растений к моменту уборки растений в фазу цветения, даже при ранних сроках посева, находилась в интервале меньших величин - 148 - 155 см (табл.31).

Отсюда, наиболее эффективным агротехнологическим приемом, обеспечивающим активное нарастание зеленой массы кукурузы на мерзлотной лугово - черноземной почве служило внесение полного минерального удобрения (NPK_{120}) при сопоставимых показателях с мерзлотной аллювиальной дерновой почве в условиях орошения при посеве в ранние сроки (I - II декады июня).

На всех мерзлотных почвах по изучаемым вариантам и признакам оценки наибольшее активный рост растений кукурузы наблюдался к фазе образования соцветий (табл. 31).

Специфика изменения высоты растений по фенофазам и нарастания зеленой массы кукурузы на мерзлотных почвах, особенно в период образования соцветий, подтвердилось и кинетическими характеристиками этих изменений во времени. Во всех случаях оценки характер изменения высоты растений аппроксимировался регрессионной функцией в виде экспоненты с различиями по величине кинетических констант (k) по вариантам опыта (табл.32).

Наибольшая кинетика роста растений темпы нарастания зеленой массы кукурузы наблюдалась на лугово-черноземной мерзлотной почве под воздействием минеральных удобрений, которая достигала $k = 0.990$ в сутки с минимальными значениями на варианте контроль - $k = 0.870$ в сутки (табл.32).

Панорама различных кинетических констант (k) подтвердила различия высоты растений кукурузы по изучаемым вариантам опыта и фенологическим фазам (табл.32).

Аналогично высокие кинетические характеристики нарастания зеленой массы кукурузы наблюдались под влиянием орошения, которые оказались очень

высокими при позднем сроке посева и составили $k = 0.999$ в сутки и высокими при раннем и среднем сроке посева $k = 0.957 - 0.971$ в сутки (табл.32).

При этом небольшая высота растений к моменту уборки в фазу цветения при поздних сроках посева ($h = 158.3$ см), даже при орошении, обеспечивалась наибольшими кинетическими показателями $k = 0.999$ в сутки (табл.32).

Таблица 32 - Модели изменения высоты (h , см)

и кинетика роста растений (k) кукурузы по вариантам опытов

Варианты опытов			Показатели высоты по фенофазам, см	
			модели регрессии (t - фактор времени, сутки)	константа (k) скорости роста
мерзлотная лугово-черноземная почва (код опыта КК-1. У/О)				
контроль, без удобрений	схема посева междурядий, см	30	$h = 2.626 e^{0.870 t}$	0.870 в сутки
		60	$h = 2.529 e^{0.881 t}$	0.881 в сутки
NPK ₉₀		30	$h = 2.435 e^{0.951 t}$	0.951 в сутки
		60	$h = 2.321 e^{0.964 t}$	0.964 в сутки
NPK ₁₂₀		30	$h = 2.398 e^{0.966 t}$	0.966 в сутки
		60	$h = 2.151 e^{0.990 t}$	0.990 в сутки
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (код опыта КК-2. С/О)				
июнь	I декада	$h = 2.588 e^{0.957 t}$	0.957 в сутки	
	II декада	$h = 2.257 e^{0.971 t}$	0.971 в сутки	
	III декада	$h = 1.654 e^{0.999 t}$	0.999 в сутки	
мерзлотная лугово-дерновая почва (код опыта КК-3. С/БО)				
июнь	I декада	$h = 2.481 e^{0.907 t}$	0.907 в сутки	
	II декада	$h = 2.395 e^{0.898 t}$	0.898 в сутки	

Отсюда, высокая кинетика ростовых процессов на мерзлотной почве не всегда обеспечивает адекватно высокую высоту растений и, наоборот, более высокая высота растений поддерживается более слабыми кинетическими характеристиками. И в этом смысле, специфика мерзлотного отклика ожидаема.

На наш взгляд, подобное поддерживается фундаментальным принципом Лешателье в частном проявлении. Последний проявился также при оценке кинетики нарастания зеленой массы в условиях богары (без орошения) при посеве в первом и втором сроке, когда невысокая высота растений к моменту уборки в фазу цветения (148 - 155 см) поддерживалась вполне высоким кинетическим обеспечением ($k = 0.898 - 0.907$ в сутки) (табл. 32).

При этом, наименьшая кинетика нарастания зеленой массы кукурузы наблюдалось на контрольном варианте ($k = 0.870 - 0.881$ в сутки). В целом, независимо от вариантов опыта и изучаемых признаков, растения кукурузы на мерзлотных почвах к моменту уборки зеленой массы (фаза цветения) характеризовались разным откликом по высоте (h , см) и кинетике нарастания зеленой массы (k , сутки) во времени (полевой сезон). В этом проявлении лучшее обеспечение наблюдалось на лугово-чернозёмной мерзлотной почве при внесении полного минерального удобрения по фону орошения и в случае раннего посева - первая декада июня.

Таким образом, 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 и изучаемых признаков, отражала высокую ($k = 0.870$ в сутки) и очень высокую ($k = 0.999$ в сутки) скоростную составляющую этого процесса во времени. Последние, в этом понимании представлены впервые.

5.4. Энергетические и кормовые достоинства

Общепризнанные риски возделывания подсолнечника на мерзлотных почвах при постоянном доминировании холодных воздушных масс дефиците тепла нивелируется, главным образом, изменениям энергетического статуса системы почва

- растение. Ранее в отношении ключевой значимости энергетического состояния доказано работами ряда авторов (Замараев и др., 2005; Савич и др., 2007, 2010а,б, 2016; Соколов и др., 2020; Галеев и др., 2020; Будажапов и др., 2022, 2023). Соответственно этому, в этих критических для подсолнечника гидротермических режимах функционирования, получение урожая зеленой массы обеспечивалось возрастанием энергетического состояния посевов при поступлении извне дополнительных источников энергии в виде минеральных удобрений и орошения с подбором наиболее оптимальных календарных сроков посева. Отсюда, высокая мотивированность оценки энергетических параметров посевов подсолнечника при возделывании на мерзлотных почвах представляется наиболее значимым. Результативность оценок по изменению энергетического статуса посевов подсолнечника позволила выявить ряд ключевых позиций.

Воздействие минеральных удобрений (NPK) в сочетании с орошением сопровождалось не только значимым ростом урожая зеленой массы кукурузы (табл.29), но и возрастанием энергетического состояния посевов (табл.33), а равно кормовой их ценности (табл.34).

Таблица 33 - 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 посева междурядий, 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
Приращение 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 коэффициент производства кормов		1.87	1.97	2.26	2.34	2.24	2.32

Подобные изменения наблюдались по всем мерзлотным почвам с разной степенью проявлений при общем высоком позитивном отклике растений. При этом, выявлены общие и частные закономерности этих изменений, которые, в этом их массиве, следует оценивать как критерии оценки урожая однолетних кормовых культур. На мерзлотной лугово-черноземной почве значимое увеличение урожая кукурузы обеспечивалось изменением энергетического состояния посевов под влиянием вносимых минеральных удобрений при орошении в направлении возрастания по всем основным параметрам (табл.33).

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.33). Как следствие, почти вдвое возрастало приращение валовой энергии - с 77.2 на контроле до 128.1 ГДж при внесении удобрений (NPK) и показатели энергетического коэффициента с 1.87 до 2.32 соответственно.

Таблица 34 - Энергетическая оценка посевов кукурузы при разных режимах увлажнения и сроках посева на мерзлотных почвах

Параметры оценки	Ед. изм.	Аллювиальная дерновая			Дерново-луговая	
		с орошением			без орошения	
		сроки посева (декада - месяц)				
		I-VI	II-VI	III-VI	I-VI	II-VI
Затраты совокупной энергии	<u>ГДж</u> га	31.5	31.8	28.8	22.6	21.9
Валовая энергия		154.9	146.3	62.7	103.1	129.3
Обменная энергия		71.7	68.3	29.3	48.9	61.2
Приращение валовой энергии		123.4	114.5	107.4	80.5	33.9
Энергетический коэффициент		4.92	4.60	2.18	4.56	5.90
Энергоемкость, ц	ГДж	0.91	0.99	2.10	0.99	0.76
Энергетический коэффициент производства кормов		2.28	2.15	1.02	2.16	2.79

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; Железняк, 2020; Иванов и др., 2024). На мерзлотных аллювиальной дерновой и дерново-луговой почвах изменение энергетического состояния посевов и кормовых достоинств продукции под воздействием агротехнологических приемов (орошение, разные сроки посева) оказались менее выраженными и сопровождалось меньшим энергетическим откликом (табл.34). В наиболее общем виде подобный «пассивный» характер воздействия этих признаков обусловлен меньшей «энергетической их активностью» в сравнении с минеральными удобрениями, особенно в отсутствии орошения, влияние которых в этих оценках оказалось слабым.

Как следствие, при одних сроках посева (первая и вторая декада июня) 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.

Таблица 35 - 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 посева междурядий, 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 в-во	0.57	0.58	0.64	0.65	0.64	0.65
переваримый протеин, г		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; корм. ед. 0.01; пер. прот. 3.1

С позиций энергетического обмена и достигнутого энергетического состояния посевов кукурузы наиболее высокий статус в условиях орошения обеспечивался при раннем сроке посева кукурузы в первой декаде июня. При поздних сроках посева (третья декада июня) даже при орошении энергетический статус посевов оказался значительно ниже богарных условий. Отсюда, урожай зеленой массы кукурузы при позднем сроке посева был минимальным и не превышал в среднем 137.1 ± 7.9 ц/га (табл.30).

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 изменению энергетического состояния посевов под нагрузкой минеральных удобрений выявлено улучшение кормовой ценности зеленой массы кукурузы (табл.35, приложение 15).

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.35). В результате этого, значимо возрастало 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.

При этом, слабое энергетическое состояние посевов не обеспечивало существенный рост урожая в мерзлотных режимах. Адекватно этим зависимостям складывались и показатели кормовой ценности продукции (табл.36, приложение 16,17) 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.

Таблица 36 - Кормовые достоинства зеленой массы кукурузы при разных режимах увлажнения и сроках посева на мерзлотных почвах

Параметры оценки (по сырому веществу)		Аллювиальная дерновая			Дерново-луговая	
		с орошением			без орошения	
		сроки посева (декада - месяц)				
		I-VI	II-VI	III-VI	I-VI	II-VI
протеин	% на абс. сух. в-во	20.7	21.7	21.9	19.2	19.5
клетчатка		32.9	33.1	32.5	31.4	31.9
жир		2.5	2.7	2.7	2.7	2.7
зола		7.9	7.6	7.4	8.4	9.2
БЭВ		36.0	35.0	35.4	38.3	36.6
кормовая единица	кг/сух в-во	0.65	0.66	0.67	0.67	0.65
переваримый протеин, г		153.5	161.8	164.1	139.9	142.3

НСР₀₅ протеин 2.1; клетчатка 2.7; жир 0.01; зола 0.02; БЭВ 2.9; корм. ед. 0.01; пер. протеин 3.5

5.5. Экономический эффект возделывания

Результирующим критерием оценки возделывания кукурузы на зеленую массу в мерзлотных режимах выступает экономический эффект, получаемый от введения этой однолетней кормовой культуры в земледелие этого региона. Соответственно, предпринята попытка представить экономическую оценку ожидаемых рисков возделывания кукурузы на мерзлотных почвах и оценить конкурентность возделывания в классическом формате (табл.37) и по вкладу в покрытие постоянных (переменных) издержек (табл.38).

В общепринятых критериях оценки, экономическая эффективность возделывания кукурузы на зеленую массу для мерзлотных эколого-почвенных режимов представляет классические характеристики, которые отражают в итоговом восприятии уровень чистого дохода и рентабельности (табл.37).

Позитивный экономический эффект возделывания кукурузы на мерзлотной лугово-черноземной почве выявлен при внесении полного минерального удобрения (NPK_{120}) при орошении (табл.37).

Таблица 37 - Экономическая оценка возделывания кукурузы

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 1га	руб / га			%
мерзлотная лугово-черноземная почва (минеральные удобрения и орошение)								
КК-1. У/О	контроль, без удобрений	схема посева междурядий, 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	

В этом случае, наблюдался наибольший условный чистый доход, который достигал 36315 руб/га и почти втрое превышал аналогичный варианта контроль (без удобрений). При этом, уровень рентабельности достигал 71% против 42% соответственно. Как следствие, фактологические риски экономического эффекта возделывания кормовой культуры кукурузы в жёстких режимах на товарном рынке кормов нивелируется научно-обоснованным подходам к управлению минеральным

питанием растений за счет внесения полного минерального удобрения по фону орошения.

Отсюда, экономический эффект возделывания кукурузы на этой мерзлотной почве в типичных мерзлотных режимах приобретает обоснованные экономические притязания. Ранее подобные заключения носили эпизодический и противоречивый характер и более отражали локальные заключения экономических рисков, тем более по данным краткосрочным и единичным полевым опытам (Попов, 1987; Волков и др. 2020) (табл. 37).

На дерново-аллювиальной мерзлотной почве риски экономического эффекта возделывания кукурузы при орошении по срокам посева также имели экономическую обоснованность. В наиболее полной мере последнее проявилось в случае раннего посева в первой декаде июня, при очень высокой (72%) рентабельности (табл. 37). По этим параметрам, критерии раннего срока посева кукурузы на этой мерзлотной почве оказались сопоставимы с внесением полного минерального удобрения на лугово-черноземной мерзлотной почве. Во всех остальных случаях (посев вторая и третья декада июня) риски экономического эффекта возрастали значительно и не имели экономической целесообразности проведения этих агротехнологических приемов.

В богарных режимах возделывания кукурузы на зеленую массу (без орошения) риски экономического эффекта на мерзлотной дерново-луговой почве в случае посева в первой-второй декаде июня также возрастали значительно и не имели должной экономической эффективности. Подобное обусловлено очень низким показателем условно чистого дохода (15455 руб/га) с адекватно низкой (39%) рентабельностью (табл. 37).

В результате анализа экономической эффективности возделывания кукурузы на мерзлотной лугово-черноземной почве на варианте с внесением удобрений (NPK₁₂₀) стоимость продукции составила 87624 руб/га при условно чистом доходе 36315 руб/га с рентабельностью 71%. На мерзлотной аллювиальной дерновой почве при орошении лучшим вариантом служил посев в первой декаде июня, прямые затраты которого составили 48405 руб/га при условно чистом доходе 34779

руб/га и рентабельностью 72%. На мерзлотной дерново-луговой почве (без орошения) лучшим вариантом выступал посев во второй декаде июня, где стоимость продукции составила 69432 руб/га с величиной условно чистого дохода 28871 руб/га и рентабельностью 71% (табл.37).

При доминирующей доле грубых кормов оценка конкурентной способности зеленой массы кукурузы в формировании кормовой базы представляла несомненную мотивированность. В этой связи, оценка конкурентности возделывания кукурузы на мерзлотных почвах по показателям оценки вклада в покрытие постоянных издержек и величине равновесной урожайности позволила выявить несколько иной аспект - значимость зеленой массы на товарном рынке кормов в регионе. Результаты такой оценки представлены в таблице 38. Подобное, помимо рисков возделывания, связано с высокими энергетическими и кормовыми достоинствами полученной зеленой массы кукурузы на этих почвах в разных режимах и вариантах опыта.

Возделывание кукурузы на зеленую массу на лугово-черноземной мерзлотной почве при орошении в случае внесения полного минерального удобрения (NPK_{120}) с междурядьем 60 см оказалась наиболее эффективным, так как в этом случае показатель вклада в покрытие постоянных издержек (ВППИ) оказался наибольшим и в денежном эквиваленте достигал 36315 руб/га (табл.38). В этом случае показатель равновесной урожайности (РУ) складывался ниже среднемноголетних значений. Аналогичная оценка на дерново-пойменной мерзлотной почве при орошении только в случае посева в ранние сроки посева (первая декада июня) позволила установить, что показатель вклада в покрытие постоянных издержек (ВППИ) оказался высоким и достигал 34779 руб/га и был наибольшим в сравнении с поздними сроками посева (табл.38).

Оценка конкурентной способности кукурузы на мерзлотных почвах показало неоднозначное влияние в зависимости от воздействия разных вариативных признаков и типа почвы. Так, на мерзлотной лугово-черноземной почве при орошении в целом изучаемые признаки (схема междурядья до 60 см и внесение

минеральных удобрений) положительно повлияли на увеличение ВППИ при возделывании кукурузы.

Таблица 38 - Конкурентная способность кукурузы и вклад в покрытие постоянных издержек на мерзлотных почвах

Варианты опытов			Урожай, ц/га	Стоимость продукции, руб	ВППИ, руб/га	РУ, ц/га
мерзлотная лугово-черноземная почва (код опыта КК-1. У/О)						
контроль, без удобрений	схема посева междурядий, см	30	232.1	55704	15227	171.2
		60	239.8	57552	16948	172.0
NPK ₉₀		30	332.4	79776	31160	207.8
		60	340.1	81624	32882	208.6
NPK ₁₂₀		30	351.3	84312	33230	218.4
		60	365.1	87624	36315	219.8
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (код опыта КК-2. С/О)						
июнь	I декада		346.6	83184	34779	207.5
	II декада		322.8	77472	29213	205.9
	III декада		137.1	32904	-12549	187.3
мерзлотная дерново-луговая почва (код опыта КК-3. С/БО)						
июнь	I декада		228.2	54768	15455	166.4
	II декада		289.3	69432	28871	173.8

Именно на этом варианте наблюдался и достоверно высокий урожай с высокими энерго-протеиновыми достоинствами. При позднем сроке посева (третья декада июня) возмещение затрат урожаем отсутствовала и показатель вклада в покрытие постоянных издержек (ВППИ) составила -12549 руб/га.

На мерзлотной дерново-луговой почве в богарных режимах показатель вклада в покрытие постоянных издержек (ВППИ) оказался невысоким и находился в пределах 15455 - 28871 руб/га (табл.38).

Таким образом, экономически оправданным и доверительным агротехнологическим приемом выступает обязательное внесение полного

минерального удобрения (NPK_{120}) с посевом кукурузы в ранние сроки при орошении (табл.37). Во всех остальных случаях (поздние сроки посева даже орошении и таким образом богаре, без минеральных удобрений), риски возделывания этой ценной кормовой культуры и получение урожая на мерзлотных почвах доказала экономическую несостоятельность.

Подобное обусловлено высоким урожаем (табл.30) при высокой обеспеченности энергетическими (табл.33) и кормовыми достоинствами продукции (табл.34). 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.

В целом, 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.

Заключение

Впервые в масштабированной практике мерзлотного земледелия представлено теоретическое обоснование урожая кукурузы в типичных режимах Субарктики, которое достигается разработкой агротехнологических приемов снижением крайне неблагоприятных факторов возделывания (мерзлота в профиле почв, доминирование холодных воздушных масс и дефицит тепла). Высокий потенциал урожая по приходу ФАР оценивался на уровне 484.9 ц/га с последующим ранжированным снижением за счет дефицита тепловых ресурсов и производственных издержек до 110 - 250 ц/га зеленой массы. Статистики урожая оказались на близких (232.1 ± 18.0 ц/га) и при внесении минеральных удобрений, орошения с посевом в первой-второй декаде июня возрастали в среднем достигал

365.1 ± 16.6 ц/га с высокими лимитами (324.6- 381.2 ц/га). В достижении последних эти приемы оказались наиболее эффективными.

При этом, установлен факт активного роста растений кукурузы и нарастания вегетативной массы при нивелировании внешних факторов в период онтогенеза, кинетика которого достигала $k = 0.999$ в сутки. Эффект последнего также обеспечивал получение значимо высокого урожая. Во всех случаях, орошение вкупе с минеральными туками и сочетанием посева в первой декаде июня обеспечивало возрастание энергетического статуса посевов, особенно в части приращения валовой энергии с адекватным увеличением переваримого протеина и энергетического коэффициента производства кормов. Характер и направленность этих изменений оставался и по изучаемым мерзлотным почвам.

Экономический эффект реализации верифицированных агротехнологических приемов возделывания кукурузы и нивелирования рисков в мерзлотном земледелии позволил раскрыть высокую экономическую обоснованность возделывания этой культуры на мерзлотных почвах с высокой рентабельностью производства сочных кормов (39-72%) при адекватно высоком показателе ВППИ и равновесной урожайности. Последние позволяют высоко оценить конкурентность урожая на рынке кормовых культур.

ГЛАВА 6. 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 гидротермическим режимам (Вавилов, 1981; Посыпанов, 2007; Троц, 2013; Кашеваров и др., 2016) послужили обоснованием урожаев и разработке технологии возделывания этой культуры в мерзлотных режимах в отсутствии исследований по этой кормовой культуре в условиях Республики Саха (Якутия). Разрозненные во времени и пространстве отдельные работы с этой культурой в регионе не позволяют выстроить достаточное устойчивое мнение по эффекту введения редьки масличной в земледелие мерзлотных режимов.

Редька масличная (*Raphanus sativus* L.) однолетнее растение, перекрестноопыляемое относится к семейству капустных, быстрорастущая и холодостойкая полевая культура (Посыпанов, 2007). В земледелии редьку масличную возделывают на зеленую массу, силос, зеленый корм, травяную муку и в качестве сидеральной культуры. Продолжительность вегетационного периода для получения зеленой массы на корм и сидерат составляет 45 - 55 суток. По оценкам целого ряда авторов, редька масличная может высеваться в разные сроки и давать до трех урожаев в год (Дорофеева, 1990; Троц, 2013; Кшникаткина и др., 2018; Травин и др., 2019). В различных климатических условиях, по мнению ученых, урожайность редьки масличной составляет 10-15 и даже 20 ц/га и зеленой массы 250-400 ц/га с содержанием сухого вещества 22-40 ц/га (Кашеваров и др., 2016; Мастеров и др., 2017).

По данным отдельных авторов, зеленая масса редьки масличной обладает высокими кормовыми достоинствами и на 1 к. е. приходится 140-190 г переваримого протеина. Питательность 1 кг зеленой массы 0.14-0.15 к.е., и в сухом веществе 0.7-0.9 к. е. (Мустафин и др., 2010; Elers, 1987).

По химическому составу, особенно по содержанию протеина, редька масличная приближается к группе бобовых растений. Стебель редьки масличной полый или выполненный, ветвистый, искривленный в узлах с высотой 80-130 см (Кашеваров и др., 2016; Шаламова и др., 2017).

Растение представляет собой раскидистый травянистый куст, ветвящийся от основания стебля. Покрывается многочисленными резными листьями, листовые пластины растения небольшого размера. Цветы белого, лимонного или светло-фиолетового оттенков, небольшого размера и без запаха. Каждый цветок цветет в среднем 2 дня, а все растение - около 30 дней.

Характерное отличие строения плодов редьки от других капустных в том, что семена крепятся не на тонкой пленчатой перегородке, а размещаются в рыхлой паренхиме, из которой трудно вымолачиваются. Плоды - некрупные стручки (5-8 см), наполненные мелкими семенами. Вес 100 зерен 9-12 грамм, стручки при созревании не растрескиваются и при уборке возможны потери за счет их обламывания (Пешков и др., 2008). Имеет мощный стержневой, в верхней части утолщенный до 2-3 см корень, проникающий в глубину до 1 м. Основная масса корней располагается в пахотном горизонте (Gupta, 2009).

По своим биологическим свойствам данные растения являются холодостойкими, умеренно требовательными к теплу, имеют короткий вегетационный период (Шевцова и др., 2008). Семена начинают прорастать при температуре $+3-5^{\circ}\text{C}$, а более дружные всходы появляются при $+7-8^{\circ}\text{C}$. После заморозков она продолжает вегетировать. Суммарная потребность в среднесуточных температурах от посева до появления всходов составляет около 100°C , от всходов до укосной спелости - 760°C . Эта культура влаголюбива, особенно во время появления всходов и в период цветения-плодообразования, транспирационный коэффициент 550 - 620 единиц, часто страдает от засухи и отрицательно реагирует на избыточное увлажнение почвы (Ермаченко, 2016; Silveira, 2001).

По данным С.А. Павловой (2009) на мерзлотных почвах Республики Саха (Якутия) для создания зеленого конвейера редьку масличную высевали в смеси с

овсом, у которой отмечалась наибольшая ассимиляционная поверхность листьев 33.9 тыс/м² с урожайностью до 378 ц/га, с вкладом кормовых единиц 62 ц/га и переваримого протеина 9.5 ц/га. По мнению С.А. Павловой и др. (2018) на мерзлотных почвах период от всходов до выметывания у редьки масличной длится от 44 до 53 суток. Редька масличная - высокопластичная культура, может произрастать в лесной и лесостепной зонах на различных почвах, в т.ч. на кислых, песчаных и торфяниках. На тяжелых почвах редька масличная используется как сидеральная культура (Пешков и др., 2008; Ермаченко, 2016).

По мнению Е.Л. Шаламовой (2018) редька масличная особо ценится за высокие урожаи и очень быстрое нарастание зеленой массы очень быстро (40-50 дней) и в среднем с гектара выход зеленой массы составляет 200-300 ц. Урожайность семян редьки масличной с увеличением нормы высева с 2.0 млн. до 3.0 млн. шт. всхожих семян на га достоверно возрастала на 1.3 ц/га, в случае рядового посева в ранние сроки способствует повышению семенной продуктивности на 11-17% в сравнении с широкорядным (Мустафин и др., 2010; Харчевников, 2016). В агротехнологии редьки масличной, обязательно после посева проводится прикатывание, способствующее подъему влаги из нижних слоев почвы и более быстрому прорастанию семян (Посыпанов, 2007).

По данным О.Т. Андреевой и др. (2020), в условиях лесостепной зоны Забайкалья изучены одновидовые и поливидовые посевы редьки масличной. В поливидовых агроценозах с редькой масличной возрастала урожайность и улучшалось качество кормов. Наилучшие результаты в поливидовых посевах обеспечил сочетание овса и просо кормовое с редькой масличной. Урожайность зеленой массы составила 38.8- 39.7 т/ га с содержанием сухого вещества 4.88 - 4.90 т/га и переваримого протеина 810 - 820 кг/га, валовой энергии 46.3 - 52.2 ГДж/га и обеспеченностью кормовой единицы 180 - 186 г переваримым протеином. Поливидовые посевы овса и проса кормового с редькой масличной продуктивнее одновидовых агроценозов по сбору кормовых единиц в 1.5 - 1.7 раза, переваримому протеину в 2.9 - 3.3, валовой энергии в 1.2 - 1.6 раза при содержании 10.5 - 10.7 МДж обменной энергии.

В.Ю. Усов и М.В. Усова (2018), исследовали пять различных норм внесения азотных удобрений при возделывании редьки масличной в системе зелёного конвейера. Наибольшую урожайность зелёной массы имели варианты с нормой внесения от N_{20} (40.5 т/га) до N_{60} (40.0 т/га). Содержание сухого вещества в растениях редьки масличной в фазу цветения не превышала 12%. По мнению исследователей, что ростовые процессы (высота растений, площадь листовой поверхности), зеленая биомасса и накопление абсолютно сухого вещества в надземных органах редьки максимально увеличивается при внесении N_{150} на фоне $P_{60}K_{60}$. Содержание основных элементов минерального питания (азота, фосфора и калия) оптимально в варианте $N_{90}P_{60}K_{60}$.

По оценкам ряда авторов (Потапов, 2018), при изучении влияния основных элементов технологии возделывания на кормовую ценность зеленой массы редьки масличной (сорт Тамбовчанка) показало, что срок и способ посева в сильной степени влияли на сбор кормовых единиц, переваримого протеина и обменной энергии. Максимальные показатели по этим параметрам установлены при летнем рядовом посеве с нормой высева 3 млн и составили соответственно 3.04 т к.ед./га, 5.04 ц/га и 36.5 ГДж/кг, а минимальные - при первом сроке посева с междурядьями 60 см и нормой высева 2 млн. Норма высева в меньшей степени влияла на кормовую ценность, однако ее повышение приводило к увеличению показателей питательности.

Е.Л. Шаламова и В. Думов (2018) считают, что наибольшая урожайность семян редьки масличной в условиях среднегорной зоны Алтая формируется при посеве во второй декаде мая с шириной междурядий 45 см - 12.5 ц/га. Полевая всхожесть семян редьки масличной зависела от сроков посева и находилась в пределах от 75 до 80%. При посеве во второй декаде мая всходы появились на 10-12 день, а при третьем сроке всходы отмечались уже на 7-8 день. Продолжительность периода всходы - бутонизация при первом сроке составила 28-30 дней, при посеве в первую декаду июня - 21-23 дня.

При посеве в весенние сроки в условиях низких среднесуточных температур продолжительность периода всходы - цветение составила 45-48 дней.

Вегетационный период колебался в зависимости от сроков посева и составил 112-118 дней. При посеве в первую декаду июня созревание семян проходило в условиях низких среднесуточных температур, что сказалось на урожайности и качестве семян.

В условиях Кировской области показали возможное возделывание редьки масличной в качестве промежуточной культуры. После уборки основных культур остается 49-65 дней с положительными температурами и суммой тепла 700-800°. За это время выпадает 100-150 мм и более осадков, ГТК составляет 1.1-1.4, что является достаточным для роста и развития промежуточных культур и получения их урожайности в поукосных посевах 6.51-8.41 т/га, в пожнивных посевах 1.20 - 1.80 т/га с.в. (Козлова и др., 2019).

По данным Л.К. Маруновой (2018), в условиях лесостепи Среднего Поволжья редька масличная способна формировать урожай зеленой массы в чистых посевах на уровне 33.9 т/га. При включении редьки в смешанные посевы, возможно получение до 5.1 т/га сухого вещества и до 0.68 т/га переваримого протеина. На кормовые цели редьку рекомендуется высевать рядовым способом с нормой высева 4.0 млн/га всхожих семян.

В исследованиях А.А. Артемьева и др. (2018, 2019, 2021), накоплен значительный экспериментальный материал и имеется определенный практический опыт по возделыванию промежуточных культур в полевых севооборотах. Значение промежуточных культур весьма разносторонне (Ермакова, 2020; Андреева и др., 2020; Zhang Q. et.al., 2018; López-Bellido L. et. al., 2014; Wang Z. et.al., 2020).

По результатам исследований Д. И. Романцевича и А.С. Мастерова (2019) большее влияние на высоту растений оказали дозы азотных удобрений, внесение азотных удобрений способствовало росту накопления сухого вещества от 137 г до 198 г в фазу бутонизации и от 471 г до 1015 г в фазу полной спелости. Наибольшее содержание азота отмечено в варианте с дробным внесением N_{70} в два этапа на фоне $N_{50}P_{40}K_{60}$. В опыте с формами азотных удобрений наибольшее содержание азота в

растениях было отмечено при двойной подкормке КАС ($N_{50} + N_{20}$) на фоне $N_{50}P_{40}K_{60}$.

6.1. Теоретическое обоснование урожаев

Расчетная величина потенциального урожая при дефиците солнечной инсоляции и поступления фотосинтетической активной радиации (ФАР) редьки масличной оценивалась достаточно высоко, составляя 429.9 ц/га (табл.39).

Таблица 39 - 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		
		сроки посева (декада июня)		
		I - VI	II - VI	III - VI
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 (ДВУ) значительно снижался и находился в интервале величин 296.2 - 312.8 ц/га (табл.39). В последующих оценках, урожай редьки масличной продолжал снижаться уже в производственных условиях определялся от 130 до 180 ц/га.

Таким образом, теоретическое обоснование и технологическая платформа возделывания этой высокопродуктивной культуры на мерзлотных почвах с учетом основных лимитирующих урожай неблагоприятных факторов позволило выстроить научно-технологические подходы к снижению рисков возделывания в ка-

честве кормовой культуры в типичных мерзлотных режимах Республики Саха (Якутия). По сути, уровень рассчитанных теоретических и производственных урожаев подчинялся общепризнанному классическому ранжированию (Шатилов и др., 1982; Каюмов, 1987).

6.2. 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.40).

Таблица 40 - 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	

НСР₀₅ междурядье 15 см 20.2; 30 см 17.3; орошение 24.5

Статистики урожая редьки масличной 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.39). 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 (табл.40, приложение 18).

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.40, приложение 19).

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) с 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.

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 корреляционные зависимости (r) были слабыми. Во всех случаях, высокая теснота этих связей с абиотическими факторами выявлена при посеве редьки масличной в 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.

6.3. Фенологические фазы и кинетика роста растений

В массовом мониторинге полевых исследований все фенологические фазы с редькой масличной на мерзлотной лугово-черноземной и аллювиальной дерновой почвах при орошении в своем развитии проходили все общепризнанные этапы (всходы - розетка листьев - бутонизация-цветение), которые отражали специфические проявления в силу наличия жестких абиотических факторов (позднее наступление, медленный рост на начальных этапах, слабое развитие).

Таблица 41 - Фенологические фазы развития и фитометрия
редьки масличной на мерзлотных почвах по вариантам опытов

Варианты опытов			Показатели высоты по фенофазам, см			
			фаза всходы	ветвление	бутонизация	цветение
мерзлотная лугово-черноземная почва (код опыта РМ-1. У/О)						
контроль, без удобрений	схема опыта междурядий, см	15	5.0	23.0	68.0	74.0
		30	5.0	26.0	70.0	76.0
NPK ₉₀		15	7.0	25.0	78.0	90.0
		30	7.0	27.0	74.0	84.0
NPK ₁₂₀		15	8.0	28.0	87.0	96.0
		30	7.0	30.0	81.0	94.0
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (код опыта РМ-1. У/О)						
июнь	I декада	7.0	28.0	74.0	86.0	
	II декада	10.0	34.0	79.0	90.0	
	III декада	11.0	32.0	64.0	78.0	

Результаты наблюдений за изменением высоты растений по фенологическим фазам показали отсутствие сколь-нибудь значимых различий по фазам развития редьки масличной (табл. 41). Как следствие, на вариантах с внесением минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве высота растений редьки масличной по фазам находилась в пределах близких величин: по всходам составила 7-8 см, в период фазы ветвления 25-30 см и в период бутонизации в интервале 74-87 см, достигая к моменту уборки (фаза цветения) 84-96 см, независимо от схемы междурядий. Несколько меньшей высотой отличались растения на варианте контроль. Аналогичная картина выявлена при изучении разных сроков посева на мерзлотной аллювиальной дерновой почве. В этом случае по всем разным срокам посева семян редьки масличной высота растений по фенологическим фазам находилась соответственно в пределах 7.0-11.0, 28-34 и 64-79 см, достигая к моменту уборки (фаза цветения) 78-90 см.

Таблица 42 - Модели изменения высоты (h, см) и кинетика роста растений (k) редьки масличной по вариантам опыта

Варианты опытов			Показатели высоты по фенофазам, см	
			модели регрессии (t - фактор времени, сутки)	константа (k) скорости роста
мерзлотная лугово-черноземная почва (код опыта РМ-1. У/О)				
контроль, без удобрений	схема посева междурядий, см	15	$h = 1.744 e^{1.011 t}$	1.011 в сутки
		30	$h = 1.987 e^{0.993 t}$	0.993 в сутки
NPK ₉₀		15	$h = 2.333 e^{0.972 t}$	0.972 в сутки
		30	$h = 2.754 e^{0.919 t}$	0.919 в сутки
NPK ₁₂₀		15	$h = 3.162 e^{0.918 t}$	0.918 в сутки
		30	$h = 2.501 e^{0.970 t}$	0.970 в сутки
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (код опыта РМ-2. С/О)				
июнь	I декада	$h = 2.988 e^{0.894 t}$	0.894 в сутки	
	II декада	$h = 2.921 e^{0.915 t}$	0.915 в сутки	
	III декада	$h = 3.530 e^{0.815 t}$	0.815 в сутки	

Отсюда, прохождение растениями редьки масличной фенологических фаз развития в онтогенезе с нарастанием зеленой массы вполне соответствовало специфическим почвенно-климатическим условиям региона и в полной мере отражало типичную общепризнанную панораму развития в классическом понимании (Вавилов, 1983; Посыпанов, 1997). Отметим некоторое своеобразие календарных дат по прохождению фенологических фаз роста и развития растений и изменения их высоты на фоне типичных для этого региона мерзлотных режимов.

Достаточная выборка данных по мониторингу высоты растений на изучаемых почвах и вариантах опыта с разными признаками оценки позволили выстроить эмпирические регрессионные модели в виде экспоненты по изменению высоты растений для выявления кинетических характеристик роста растений (табл.42). Кинетика роста растений редьки масличной в этих режимах отличалась 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.

6.4. Энергетические и кормовые достоинства

Высокий урожай зеленой массы редьки масличной при возделывании на мерзлотных почвах по результатам энергетической оценки посевов и кормовых достоинств продукции обеспечивался возрастанием энергетического состояния посевов под влиянием минеральных удобрений при увеличении кормовых достоинств в направлении возрастания белковых фракций.

Под влиянием минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве наблюдалось изменение энергетического состояния посевов (табл.43). При близких значениях затрат совокупной энергии по вариантам 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.43). При этом, возрастание энергетического статуса посевов сопровождалось достоверным ростом урожая редьки масличной и кормовых достоинств (табл.44). Отметим

возрастание энергоемкости кормов при внесении удобрений, показатель которой возрастал до 1.44 против 1.26 на контроле при устойчивости энергетического коэффициента производства кормов. Значимое увеличение урожая редьки масличной и изменение энергетического статуса посевов этой культуры под влиянием вносимых минеральных удобрений при орошении обеспечивало изменение и кормовых достоинств зеленой массы.

Таблица 43 - 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 посева междурядий, 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 коэффициент производства кормов		1.78	1.66	1.71	1.61	1.72	1.69

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 (NPK) с направленностью увеличения содержания зольных элементов и устойчивом содержании клетчатки, жира и БЭВ (табл.44).

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.44, приложение 20,21).

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

Таблица 44 - Кормовые достоинства зеленой массы редьки масличной при внесении минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве

Параметры оценки при орошении (по сырому веществу)		Контроль		NPK ₉₀		NPK ₁₂₀	
		схема посева междурядий, 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 в-во	0.64	0.66	0.71	0.69	0.69	0.70
переваримый протеин, г		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; корм. ед. 0.01; перев. прот. 4.2

Сравнительные данные показывают, что содержание валовой энергии и обменной энергии наилучшим образом выражены при первом и втором сроках посева, что предполагает более благоприятные условия для формирования урожая в этот период. Важным аспектом является и оценка энергетического коэффициента, который достиг максимального значения (3.54) во второй декаде июня (табл.45).

Характеристика кормовых достоинств этой культуры на вариантах с различными сроками посева адекватно урожаю и энергетическому статусу (табл.45) оказалась наиболее ценной по кормовым показателям в лучшем варианте оценки посева - вторая декада июня.

В этом случае, содержание сырого протеина в зеленой массе редьки масличной достигало 23.3% и переваримого протеина 176.2 г, которые превышали аналогичное их содержание на вариантах при посеве в первой и третьей декаде (табл.46, приложение 22). По всем остальным параметрам оценки значимых изменений в кормовых достоинствах не выявлено.

Таблица 45 - Энергетическая оценка посевов редьки масличной при разных сроках посева на мерзлотной аллювиальной дерновой почве при орошении

Параметры оценки при орошении	Ед. изм.	Показатели оценки по вариантам опыта		
		сроки посева (декада - июнь)		
		I-VI	II-VI	III-VI
Затраты совокупной энергии	ГДЖ га	27.8	28.1	27.7
Валовая энергия		95.7	99.4	82.0
Обменная энергия		47.9	49.7	40.8
Приращение валовой энергии		67.9	71.3	54.3
Энергетический коэффициент		3.44	3.54	2.96
Энергоемкость, ц	ГДЖ	1.36	1.34	1.59
Энергетический коэффициент производства кормов		1.72	1.77	1.47

В сравнительной оценке влияния минеральных удобрений, и разных сроков посева на кормовые достоинства редьки масличной по двум разным почвам на содержание кормовой ценности зеленой массы не обнаружено.

Таблица 46 - Кормовые достоинства зеленой массы редьки масличной при разных сроках посева на мерзлотной аллювиальной дерновой почве

Параметры оценки при орошении (по сырому веществу)		Показатели оценки по вариантам опыта		
		сроки посева (декада - месяц)		
		I-VI	II-VI	III-VI
протеин	% на абс.-сух. в-во	20.8	23.3	21.0
клетчатка		30.5	30.1	30.1
жир		3.1	3.2	3.0
зола		8.2	8.3	8.0
БЭВ		37.5	35.1	38.0
кормовая единица	кг/сух в-во	0.70	0.72	0.71
переваримый протеин, г		153.8	176.2	155.5

НСР₀₅ протеин 2.6; клетчатка 3.6; жир 0.02; зола 0.05; БЭВ 3.7; корм. ед. 0.01; пер. протеин 4.9

Отсюда, с позиций ресурсных составляющих в достижении высокой продуктивности редьки масличной в ряду наиболее эффективных приемов следует считать оптимизацию сроков посева на типичных мерзлотных почвах этого региона.

Существенные различия по ключевым параметрам этой оценки по мерзлотным почвам не наблюдались. При этом, кормовые достоинства продукции при разных сроках посева по содержанию сырого протеина возрастали до 23.3% и переваримого протеина до 176.2 г во втором сроке посева.

6.5. Экономический эффект возделывания

При дискуссионности оценок по возделыванию редьки масличной в жестких режимах мерзлотного земледелия, экономические риски получения урожая оказались резонны (табл.47).

Анализ экономического эффекта возделывания редьки масличной на мерзлотной лугово-черноземной почве показал низкий уровень рентабельности, который не превышал 7 - 17 % (табл.47). Причем, в некоторых случаях этой оценки (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 сроке посева в третьей декаде июня в отсутствии рентабельности возделывания кормовой культуры. Применение минеральных удобрений значительно влияет на продуктивность и рентабельность производства.

На мерзлотной лугово-черноземной почве внесение минеральных удобрений NPK в дозах 90 и 120 кг/га обеспечивает наилучшие результаты по чистому доходу и высокой рентабельности, достигая 17% при междурядье 15 см. Не эффективные варианты - контроль (-2 - 8%).

На мерзлотной аллювиально дерновой почве низкие показатели эффективности наблюдались в третьем сроке посева. Наиболее высокие по

рентабельности выявлены по первому и второму срокам посева (14 и 16%) (табл.47).

Таблица 47 - Экономическая оценка возделывания редьки масличной на мерзлотных почвах по вариантам опытов при орошении (зеленая масса)

Код опытов и варианты оценки				Продук- тивность	Стои- мость проду- кции	Прямые затраты	Услов- но чистый доход	Рен- та- бель- ность	
				к.ед. с 1га	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		

На лугово-черноземных почвах целесообразно применять внесение минеральных удобрений NPK 90-120 кг/га, соблюдая междурядье 15 см. На аллювиально-дерновых почвах следует избегать поздних сроков посева, отдавая предпочтение более ранним срокам посева. Такой подход позволит добиться максимальной рентабельности и повысить экономическую эффективность сельскохозяйственного производства.

По результатам экономической эффективности можно резонно оперировать экономической обоснованность возделывания редьки масличной на зеленую массу на мерзлотных почвах этого жесткого по условиям для редьки масличной региона.

Показатели конкурентной способности редьки масличной на лугово-черноземной мерзлотной почве идентичны возделыванию к мерзлотной аллювиальной дерновой почве. Значительную прибавку к вкладу в покрытие постоянных издержек оказывает внесение полного минерального удобрения, а увеличение междурядья с 15 до 30 см ведет к снижению экономических показателей (табл.48).

Таблица 48 - Конкурентная способность редьки масличной
и вклад в покрытие постоянных издержек на мерзлотных почвах

Вариант опыта			Урожай, ц/га	Стоимость продукции, руб	ВППИ, руб/га	РУ, ц/га
мерзлотная лугово-черноземная почва (код опыта РМ-1. У/О)						
контроль, без удобрений	схема посева междурядий, см	15	177.5	40825	3089	165.1
		30	161.7	37191	-611	164.1
NPK ₉₀		15	202.2	50550	5787	179.1
		30	191.6	47900	3203	178.8
NPK ₁₂₀		15	218.8	54700	7989	186.8
		30	212.2	53050	6405	186.6
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (код опыта РМ-2. У/О)						
июнь	I декада	203.8	50925	6096	179.3	
	II декада	209.3	52325	7159	180.7	
	III декада	173.6	43400	-1425	179.3	

Однако, подобный характер определяется конкретным типом почв и проведением конкретного агротехнологического приема, который по каждому в оценке экономического эффекта складывался различно. В этом случае, наиболее оправданной выступала технология посева редьки масличной на мерзлотной аллювиальной дерновой почве во второй декаде июня при более низком экономическом эффекте - при внесении полного минерального удобрения на мерзлотной лугово-черноземной почве (табл.48).

Конкурентоспособность или относительное преимущество можно определять не только путем прямого сравнения ВППИ, но и на основе определения равновесной урожайности (РУ). По уровню равновесной урожайности определяют, насколько надо повысить урожай сравниваемой культуры, чтобы она могла конкурировать с основной возделываемой в зоне культурой.

Обоснованный высокий экономический эффект подтвердился и оценкой конкурентной способности редьки масличной, а равно по возмещению затрат на производство в продукции. Высокие показатели по вкладу в покрытие постоянных издержек отмечались в варианте при внесении минеральных удобрений NPK_{90} с междурядьями посева 15 см - 7989 руб/га.

Таким образом, кормовая культура 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 зеленой массы редьки масличной. 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 редьки малсличной практически не позволяет ожидать экономический эффект возделывания.

Заключение

Результаты полевых исследований позволили дать развернутое теоретическое обоснование урожаям редьки масличной на мерзлотных почвах, величина которого при выраженном дефиците тепловых ресурсов и доминировании холода следует ожидать в интервале величин 130 -180 ц/га. Фактические урожай оказались близкими по статистическим оценкам в среднем достигали на варианте контроль (без удобрений) 177.5 ± 9.8 ц/га с узкими лимитами (158.0 - 199.3 ц) и высокой устойчивостью. При внесении минеральных удобрений на фоне орошения и лучших сроков посева в первой декаде июня статистики урожаев возрастали значительно и в среднем составили 218.8 ± 18.5 ц/га с высокими лимитами (209.3 - 254.6 ц).

Впервые для этой кормовой культуры на типичных мерзлотных почвах мерзлотного земледелия доказано снижение рисков получения урожая за счет проведения именно этих агротехнологических мероприятий, которые обеспечивали существенный рост с высокими характеристиками кормовых и энергетических показателей. Последние в этом понимании для мерзлотных режимов выступают одними из ключевых при повсеместном дефиците энергетического статуса системы почва - растение. Урожай редьки масличной по всем вариантам и мерзлотным почвам получен при наибольшей кинетике ростовых процессов растений и нарастания вегетативной массы, величина которой оказалась высокой ($k = 0.970$ в сутки). Доказано, что ключевым критерием значимо высокого урожая редьки масличной на мерзлотной лугово-черноземной почве является возрастание энергетического статуса посевов под влиянием минеральных удобрений, который по показателям обменной энергии возрастал до 101.6 ГДж с адекватным ростом энергетического коэффициента производства кормов до 1.78. Высокий урожай культуры при насыщении энергетического статуса посевов сопровождалось высоким протеиновым наполнением. Содержание сырого и переваримого протеина возрастало существенно и достигало 21% и 166.5 г соответственно.

ГЛАВА 7. УРОЖАЙ ПРОСО И РИСКИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ: СТАТИСТИКИ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И КОРМОВЫЕ ДОСТОИНСТВА, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

В реестре кормовых культур просо является одной из ведущих кормовых культур в силу целого ряда достоинств, которая связано не только с общепризнанной высокой урожайностью, но и высокой кормовой ценностью с адекватной технологической эффективностью возделывания. При этом, технологическая пластичность просо отражается меньшими требованиями к условиям возделывания при высокой в отличие от других культур засухо- и стрессоустойчивостью вкупе с выходом расширенной линейки высококачественных кормов (зерно, солома, зеленая масса, сено, сенаж). Однако, в силу ряда причин возделывание просо в северных (арктических) широтах ограничено. В этом смысле, возделывание культуры просо в Республике Саха (Якутия) не является исключением.

Просо обыкновенное или посевное (лат. *Panicum miliaceum*) - однолетнее травянистое растение, рода Просо (*Panicum*), семейства Мятликовых (*Poaceae*). Стебель просо полая соломина с высотой 70-100 см, образует побеги из узла кушения (кушение) и надземных стеблевых узлов (ветвление). На одном растении формируется от 5 до 20 побегов в зависимости от площади питания. Листья имеют ланцетовидную, широкую опущенную пластинку длиной до 65 см. Язычок короткий, с ресничками, ушки отсутствуют. Соцветие растения - метелка с колосками на концах веточек двух цветов. В каждом колоске есть два цветка: один - обоеполый, а второй - бесполой или тычиночный. Плод растения - зерновка, овальная или округлая, встречается и удлинённая белой, красной, желтой и другой окраски. Масса 1000 зерен 5-10 г. Корневая система мочковатая, прорастает одним корешком. Вторичные корни образуются из узлов кушения. Мощность корневой системы определяется глубиной залегания, которая может достигать до 105-150 см и распространяется в ширину до 120 см большим количеством корневых побегов.

Масса корней располагается в 20 см слое и на глубине до 40 см - 80% корней (Максютов и др., 2016; Турусов, 2019).

Просо относится к теплолюбивым растениям. Семена начинают прорастать при температуре 8-10°C, жизнеспособные и равномерные всходы появляются через 5-7 дней при 12-15°C. Биологически оптимальная температура, при которой достигается наиболее энергичное прорастание семян, составляет 20-30°C и максимальная, при которой прорастание приостанавливается - 40°C. Сумма активных температур за период вегетации составляет 1800-2300°C. При поздних сроках посева возникает риск попадания под заморозки. Просо теплолюбивая и засухоустойчивая культура. Транспирационный коэффициент в зависимости от условий составляет в среднем 200-300. Высокие урожаи этой культуры можно получить при влажности почвы 60-80% ППВ в течение всей вегетации.

В фазе всходов страдает от заморозков в -3 °C. Размножается семенами или вегетативно побегами кущения. Семена сохраняют всхожесть 3-4 года. При прорастании семена поглощают только 25 % от своей массы. Хорошо отзывается на орошение. Засухоустойчиво, но в период прорастания и кущения для больших урожаев требует большое количество влаги. В среднем длина вегетационного периода 80 дней. Возделывается на разных типах почв. Хорошо растёт на рыхлых, средних по механическому составу почвах. Предпочитает почву с нейтральной кислотностью, чистой от сорняков, обеспеченной питательными веществами в легкодоступной форме.

Просо отличается повышенной требовательностью к интенсивности и продолжительности дневного освещения. Одна из особенностей просо длительное сохранение фотосинтетической способности листьев и других органов во второй половине вегетации, вплоть до созревания зерна. Просо довольно неприхотливая культура, возделывается на бедных почвах тропической зоны и в зонах с более умеренным климатом. Для укосного использования интерес представляет сорт Кормовое 45 и для зерноукосного - Барнаульское 98 и Алтайское золотистое и для зернового - Барнаульское 80, Кулундинское и Барнаульское 18. По совокупности хозяйственных достоинств лучшими являются сорта Барнаульское 98, Алтайское и

Барнаульское 18. (Шукис и др., 2022). В народно-хозяйственном значении представляют интерес два вида проса: просо посевное обыкновенное, метельчатое и просо щетинистое или головчатое. Изначальный первый вид возделывали преимущественно на крупу, а второй - на кормовые цели птице и скоту в качестве зеленой массы или сена.

Первые опыты с просом в земледелии Республики Саха (Якутия) по оценкам Н.Т. Попова (1987) показали не перспективность этой культуры. По данным Х.И. Максимовой и др. (2020) при оценке продуктивности проса в кормовом севообороте на второй надпойменной террасе р. Лена, выход сухой массы за годы исследований составил в варианте контроль 3.26 т/га, на варианте (NPK₆₀) - 4.86 т/га, и на варианте расчетной дозы удобрения (NPK₁₆₀) - 6.10 т/га. Выход обменной энергии достигал 27.42 - 50.94 ГДж/га, кормовых единиц 1.82 - 3.42 т/га и сбором переваримого протеина 0.35 - 0.75 т/га.

По данным исследователей, применение минеральных удобрений повышает качество кормовой культуры на 15-20%. В силосе 1 кг СВ просо содержит кормовых единиц 0.55; переваримого протеина 39.9 г; обменной энергии - 8.21 МДж; валовой энергии 17.3 МДж и переваримого протеина 72.5 г. Большое число авторов отмечали, что увеличение густоты стояния растений снижает индивидуальную продуктивность растения, а понижение способствует повышению засоренности посевов. Посевная норма высева проса 1.2 - 5.0 млн. всхожих семян на гектар (Муханов и др., 2018; Гуринович и др., 2020; Антимонова и др., 2020; Зенькова и др., 2021, 2022).

Просо является не только крупной культурой, но и ценным источником корма для животноводства. Зеленая масса проса превосходит по качеству зеленую массу кукурузы, могоар, сорго и суданку. Собирать просо на зеленый корм можно с июля по октябрь, изменяя при этом сроки высева. В пожнивных посевах просо может давать урожай зеленой массы 110 - 150 ц /га. Сено этой культуры лучше сена из овса, сорго, кукурузы или тимopheевки, оно содержит 0,52 к.е. в 1 кг корма. Просяная солома, может занимать в структуре кормовых смесей 50 %, содержит в

среднем в 1 кг 0,4 к.е. Высокое качество соломы обусловлено еще и тем, что при уборке на зерно листья и стебли остаются зелеными, пригодными к силосованию.

По данным Попова и ряда авторов (2018) семена просо начинают прорастать при температуре 6-8⁰С, потребляя в этот период мало влаги. Оптимальная температура для прорастания семян 20-25⁰С. Потребность в сумме активных температур составляет 1700-2000⁰С в зависимости от сортов. Вегетационный период от 60-70 до 100-120 дней. Характеризуется повышенной сопротивляемостью к засухам. Засухоустойчивость проса определяется не только малым расходом воды, но также и тем, что просо хорошо использует поздние дожди и продолжает ассимилировать при высоких температурах. Отсутствие ранних дождей просо выносит как бы в состоянии анабиоза.

Биологической особенностью проса является медленный рост в начальный период развития (до появления 6-7 - го листа). Кущение начинается на 15-20-й день после всходов, при недостатке тепла задерживается. После начала кущения просо растет быстро, и в этот период сорняки для него уже не опасны. Выход в трубку начинает через 35-40 дней после начала кущения, через 10-12 дней просо выбрасывает метелку, цветения начинается на 2-6-й день после выметывания. Продолжительность фазы выметывания составляет 12-14 дней, цветения - 16-18 дней. К плодородию почвы просо не очень требовательно, но не переносит очень кислых, заболоченных и тяжелых почв. Растет оно на целинных залежных землях, черноземах и окультуренных почвах.

Выбор оптимальных сроков посева просо в течении длительного времени остается, по мнению многих авторов, одним из наиболее ответственных моментов и определяющим фактором получения высоких урожаев (Корнилов, 1960; Захаров, 1972; Надточий, 1991). Выявлено, что сроки посева необходимо корректировать в зависимости от состояния метеорологических условий в весеннее время и в годы, когда была среднепоздняя весна, благоприятным сроком посева проса необходимо считать третью декаду мая.

Относительно способов посева и нормы посева семян до сих пор нет единого мнения и вопрос количественного и пространственного размещения семян этой

культуры остается открытым. Ряд авторов отмечают, что при широкорядных посевах увеличивается площадь питания и улучшается освещение растений, в следствие чего, растения лучше кустятся, а междурядные обработки активизируют микробиологическую жизнь почвы, уничтожают сорняки и благоприятствуют росту и развитию растений (Мосолов, 1944; Бессонов, 1961).

Производство просо выгодно в зонах, где зерновые культуры плохо переносят засуху. Просо очень жаростойко, формирует хорошую урожайность и при повышенных температурах. Данный злак представляет собой страховую культуру: даже в неблагоприятные сезоны просо формирует урожайность от 1.2 т/га. При соблюдении приемов агротехники и оптимальной густоте посева урожайность составляет 1.5...1.8 т/га.

Отечественными и зарубежными исследователями неоднократно подтверждено положительное влияние внесения минеральных удобрений на урожайность и качество продукции просо (Прянишников, 1953; Маркитанова, 1973; Net, 1975; Кореньков, 1985; Borkowski, Kozera, 1956; Brouwer et. al., 1961; Yamada, Suge, Nakamura, 1963; Nelson, 1972). Роль элементов питания в жизни растений достаточно подробно освещалась в работах Д.Н.Прянишникова (1953), А.Г.Кульман (1979), Г.П. Гамзикова (2013,2020).

По мнению А.В. Парамонова (2019) в условиях Ростовской области вне зависимости от способа основной обработки почвы для увеличения урожайности и сбора кормовых единиц просо по предшественнику травосмесь второго года использования необходимо вносить полное минеральное удобрение с нормой $N_{60}P_{36}K_{60}$. П.В. Соломахин (1987), на основании результатов исследований, доказал, что просо не существенно отзывается на внесение калийных удобрений, очень хорошо реагирует на применение азотных и фосфорных удобрений.

Представленные результаты полевых опытов И.М. Хамоковой (2022) и многих других ученых свидетельствуют о большей эффективности внесения удобрений под предшествующие культуры севооборота в невысокой дозе полного минерального удобрения $N_{40}P_{60}K_{20}$. Прибавка урожайности кормовопроса

составляет 42.4%. Применение удвоенной дозы NPK приводит к снижению урожая на 10.6% (Захарова, 2019; Филин и др., 2019; Парамонов, 2019; Скороходов, 2022).

По данным О.Н. Антимоновой и Л.Ф. Сыркиной (2020) урожайность сортов просо по годам колебалась в пределах 1.36-3.00 т/га и коэффициент вариации доходил до 31.5%. Анализ влияния суммы активных температур на урожайность сортов просо указал на тесную обратную корреляционную связь ($r = - 0.76$), среднюю обратную - у сорта Крестьянка ($r = - 0.50$) и слабую прямую у сорта Россиянка ($r = 0.27$) в фазу выметывания - полной спелости.

По данным И.М. Нестеровой (2020,2021) в результате проведенной энергетической и экономической оценки возделывания проса на зеленую массу, убираемую в фазу выметывания, в зависимости от сроков посева и почвенно-климатических условий Беларуси установлено, увеличение урожайности зеленой массы с повышением энергетической и экономической эффективности от данного агрономического приема.

Результатами исследований Н.Н. Зенькова и др. (2022) установлено, что наибольшую урожайность зеленой массы просо сформировалась при одноукосном использовании с уборкой в фазу молочновосковой спелости зерна (530.4 ц/га) при втором сроке посева. При первом сроке посева урожайность просо составила 450.0 ц/га, что на 15.1% меньше, чем при втором сроке посева.

В целом, многолетние исследования в разных почвенно-климатических зонах, в том числе отдельные в Республике Саха (Якутия), свидетельствуют о высокой урожайности кормовой культуры просо, уровень который определяется конкретными гидротермическими режимами и плодородием почв с положительным откликом на внесение минеральных удобрений и выбора оптимальных сроков посева в сочетании с лучшими сортами. При этом, просо как страховая зерновая культура практически не имеет равных и поэтому возделывание этой культуры приобретает несомненную мотивацию для мерзлотных почв арктических регионов России.

7.1. Теоретическое обоснование урожая

Признанная пластичность культуры просо с высокими кормовыми достоинствами и адаптационными способностями не уступает сене многолетних трав (Прянишников, Якушкин, 1938; Посыпанов и др., 1997) представляет, несомненный, интерес с позиций расширения и пополнения кормовой базы Республики Саха (Якутия). 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 кормовой культуры просо на мерзлотных почвах этого региона до настоящих времен, к сожалению, отсутствуют. Потенциальный урожай культуры просо в теоретическом обосновании (274.3 ц) и действительно возможный (283.3-299.7 ц) оценивался как достаточно высокий (табл.49).

Таблица 49 - Теоретический и технологический уровень урожая просо на мерзлотной аллювиальной дерновой почве, ц/га (расчетная оценка)

Уровни и категории урожая (зеленая масса)		Показатели по срокам посева (декада июня)		
		I - VI	II - VI	III - VI
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

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.49). 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 условиям.

7.2. Статистики урожая и сопряженность с абиотическими факторами

Результаты многолетних полевых исследований позволили выявить различия урожая по вариантам опыта и признаками оценки на мерзлотной лугово-чернозёмной и мерзлотной аллювиальной дерновой почве (табл.50).

Таблица 50 - 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	

НСП₀₅ междурядье 15 см 19.9; 30 см 17.5; орошение 18.1

Урожай просо на мерзлотных почвах при орошении складывался различно. 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.50, приложение 23). Урожай просо при внесении минеральных удобрений (NPK_{120}) оказался достоверно высоким и в среднем составил 230 ± 18.5 ц с высокими верхними лимитами - 241.2 и 254.6 ц/га.

На мерзлотной аллювиальной дерновой почве отклик проса 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.50). Следовательно, в жестких режимах мерзлотного земледелия высокий урожай просо более определялся более внесением минеральных удобрений и был минимальным (ниже контрольного) при посеве в третьей декаде июня.

Таким образом, для повышения урожайности просо в условиях мерзлотного земледелия, приоритетным является внесение минеральных удобрений в оптимальных дозах (NPK_{120}). Важным фактором является соблюдение оптимальных сроков посева, с предпочтением первой декады июня на мерзлотных аллювиальных дерновых почвах.

Результаты исследований свидетельствуют о возможности получения стабильно высоких урожаев просо в условиях мерзлотного земледелия при условии комплексного подхода, включающего научно обоснованное применение удобрений и оптимизацию сроков посева.

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 просо 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.

7.3. Фенологические фазы и кинетика роста растений

Несмотря на мерзлотный режим функционирования растений просо в онтогенезе, прохождения фенологических фаз с откликом морфометрических характеристик по высоте растений, служили одним из критериев при оценке характера проявления ростовых процессов и темпов нарастания зеленой массы (табл.51). При этом, мониторинг за фенологическими фазами просо в типичных мерзлотных режимах этого региона отражал известную совокупность реакций и отклика растений на проявление внешних и внутренних изменений (табл. 51).

Фенологические и фитометрические показатели просо отражали типичные параметры наступления фенофаз, роста и высоты растений. В условиях дефицита

тепловых ресурсов высота растений просо к моменту уборки (цветение) на варианте контроль не превышала 122 см и возрастала под влиянием минеральных удобрений, достигая высоты 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.

Сроки наступления фенологических фаз также зависели от агротехнологических приемов и погодных условий. В вариантах с внесением минеральных удобрений фаза выметывания наступала на 3-5 дней раньше по сравнению с контрольным вариантом. Орошение, способствовало более раннему прохождению фазы цветения, особенно при раннем посеве.

Таблица 51 - Фенологические фазы развития и фитометрия просо на мерзлотных почвах по вариантам опыта при орошении

Варианты опытов			Показатели высоты по фенофазам, см				
			фаза всходы	кущения	выход в трубку	выметы-вания	цветения
мерзлотная лугово-черноземная почва (код опыта ПР-1. У/О)							
контроль, без удобрений	схема опыта междурядий, см	15	3.0	15.3	35.3	96.4	120.0
		30	3.5	16.0	33.0	93.0	122.1
NPK ₉₀		15	3.1	16.1	41.2	116.1	144.2
		30	3.0	16.0	38.0	110.0	146.0
NPK ₁₂₀		15	3.0	19.0	46.0	124.0	156.4
		30	3.2	20.2	42.1	121.2	160.0
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (код опыта ПР-2. У/О)							
июнь	I декада	3.0	16.0	42.0	118.5	150.7	
	II декада	3.1	16.4	39.4	112.3	144.7	
	III декада	3.3	13.0	32.0	102.3	130.0	

Таким образом, фенологические и фитометрические параметры проса в условиях мерзлотных режимов показали выраженную зависимость от агротехнологических приемов и погодных условий. Оптимизация этих факторов позволяет повысить продуктивность этой кормовой культуры в этом регионе.

По всем вариантам опыта характерно отсутствие различий по высоте растений в фазе всходов с отличиями в фазе кущения и особенно - в фазе выметывания метелки. Как следствие, кинетика роста растений просо в этих мерзлотных режимах по вариантам складывалась различно и оказалась наименьшей на контрольном варианте с константой (k) скорости нарастания зеленой массы $k = 0.886$ в сутки (табл.52).

Наиболее высокая кинетика этого процесса оказалась в условиях орошения при раннем посеве (первая декада июня), константа (k) которой в этом случае составила $k = 0.984$ в сутки. Аналогично высокая кинетика этого процесса выявлена при внесении минеральных удобрений (NPK), которая достигла величины $k = 0.962$ - 0.978 в сутки.

Таблица 52 - Модели изменения высоты (h, см) и кинетика роста растений просо по вариантам опыта при орошении

Варианты опытов			Показатели высоты по фенофазам, см	
			модели регрессии (t - фактор времени, сутки)	константа (k) скорости роста
мерзлотная лугово-черноземная почва (код опыта ПР-1. У/О)				
контроль, без удобрений	схема опыта междурядий, см	15	$h = 1.793 e^{0.922 t}$	0.922 в сутки
		30	$h = 2.039 e^{0.886 t}$	0.886 в сутки
NPK ₉₀		15	$h = 1.776 e^{0.966 t}$	0.966 в сутки
		30	$h = 1.698 e^{0.969 t}$	0.969 в сутки
NPK ₁₂₀		15	$h = 1.849 e^{0.978 t}$	0.978 в сутки
		30	$h = 1.957 e^{0.962 t}$	0.962 в сутки
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (код опыта ПР-1. У/О)				
июнь	I декада	$h = 1.697 e^{0.984 t}$	0.984 в сутки	
	II декада	$h = 1.780 e^{0.961 t}$	0.961 в сутки	
	III декада	$h = 1.684 e^{0.941 t}$	0.941 в сутки	

Кинетика роста проса на мерзлотных почвах зависело от агротехнологических приемов аоздывания. Наименьшая скорость нарастания

зеленой массы наблюдалась в контрольном варианте, а наиболее высокая - при орошении и внесении минеральных удобрений, особенно при раннем сроке посева.

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.

7.4. Энергетические и кормовые достоинства

Согласно устойчивому мнению в мерзлотных агроценозах постоянно происходит энерго- массообмен в разной степени (Куликов, 1997; Духанин и др., 2005; Савич и др., 2010; Будажапов, 2019). В этом смысле, результативность исследований по оценке энергетического состояния посевов просо под влиянием минеральных удобрений и разных сроков посева не стало исключением.

Под влиянием минеральных удобрений отмечено существенное увеличение урожая этой культуры, которое обеспечивалось изменением и энергетическим состоянием посевов (табл.53).

Таблица 53 - 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 посева междурядий, см					
		15	30	15	30	15	30
Затраты совокупной энергии	<u>ГДж</u> 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
Энергетический коэффициент производства кормов		1.56	1.47	1.71	1.63	1.74	1.68

Существенный рост урожая кормовой культуры 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.53).

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.53). Подобный отклик энергетического состояния посевов культуры 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.

При раннем сроке посева просо в первой декаде июня и значимо высоком урожае зеленой массы и наблюдался наибольший энергетический коэффициент (5.04) при меньшем показателе энергоёмкости (1.29) (табл.54). В наиболее общем виде это обусловлено тем, что при варьировании календарных сроков посева требуется значительно большие энергетические усилия в сравнении с энергетическим воздействием вносимых минеральных удобрений.

Соответственно, при достоверно высоких урожаях зеленой массы просо на мерзлотных почвах, которые обеспечивались изменением энергетического статуса посевов установлено возрастание кормовой ценности зеленой массы как отклик на эти позитивные совокупные проявления (табл.54).

На мерзлотной лугово-черноземной почве внесение минеральных удобрений оказывало существенное влияние на качественные показатели кормов. Контрольный вариант характеризовался содержанием протеина 16.3%. Применение удобрений NPK_{120} в сочетании со схемой междурядий 15 см привело к наибольшему увеличению содержания протеина до 18.9%.

Таблица 54 - Энергетическая оценка посевов просо при разных сроках посева на мерзлотной аллювиальной дерновой почве при орошении

Параметры оценки	Ед. изм.	Сроки посева (декада - месяц)		
		I-VI	II-VI	III-VI
Затраты совокупной энергии	<u>ГДж</u> га	28.0	27.7	26.5
Валовая энергия		141.0	121.9	69.8
Обменная энергия		65.9	57.2	32.5
Приращение валовой энергии		113.0	94.2	43.3
Энергетический коэффициент		5.04	4.40	2.63
Энергоемкость, ц	ГДж	1.29	1.49	2.48
Энергетический коэффициент производства кормов		2.35	2.07	1.23

Содержание клетчатки варьировалось в пределах от 31.0% до 32.6% в зависимости от варианта внесения удобрений и схемы междурядий. Содержание жира колебалось от 2.3% до 2.8%, а золы - от 6.7% до 7.3%. БЭВ варьировала от 36.83 до 38.97, а кормовая единица - от 0.60 до 0.66.

Внесение удобрений NPK_{120} в сочетании с междурядьями 15 см способствовало повышению протеинового состава кормов, что может быть связано с более интенсивным ростом и развитием растений (табл.55). Наиболее высокие показатели переваримого протеина были зафиксированы на уровне 146.0 г на

варианте при внесении удобрений NPK₁₂₀. На фоне изменения этих ключевых характеристик, наблюдалось возрастание кормовых единиц и содержание переваримого протеина против контроля, соответственно 0.66 и 146.0 г (табл.55, приложение 26). В этом случае оценок, показатели приращения валовой энергии и энергетического коэффициента производства кормов значительно превышали вариант с внесением минеральных удобрений (NPK) на мерзлотной лугово-черноземной почве.

Таблица 55 - 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 посева междурядий, 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 ед.	кг/сух в-во	0.61	0.60	0.64	0.65	0.66	0.66
переваримый протеин, г		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; пер. протеин 3.1

Исследование кормовых достоинств зеленой массы просо при различных сроках посева на мерзлотной аллювиальной дерновой почве показывает значительные различия в кормовых достоинствах. Как следствие, высокое содержание переваримого протеина в этой оценке продукции достигала 148.2 г на кг сухого вещества во втором сроке посева (табл.56). Наиболее высокий уровень сырого протеина наблюдается при посеве во второй декаде июня, где содержание достигает 20.1%, 0.67 кормовых единиц (табл.56, приложение 27).

При возделывании одной из наиболее ценных кормовых культур, которая не получила до сих пор адекватного позитивного восприятия на мерзлотных почвах,

с нивелированием неблагоприятных факторов внешней среды в качестве рисковых доказан высокий эффект внесения полного минерального удобрения с корректировкой календарной даты посева на мерзлотной лугово-черноземной почве. На мерзлотной аллювиальной дерновой почве риски возделывания этой культуры на зеленую массу оказались незначительными и нивелировались агротехнологическим приёмом возделывания за счёт более ранних сроков посева - первая декада июня.

Таблица 56 - Кормовые достоинства зеленой массы просо при разных сроках посева на мерзлотной аллювиальной дерновой почве при орошении

Параметры оценки (по сырому веществу)		сроки посева (декада - месяц)		
		I-VI	II-VI	III-VI
протеин	% на абс.- сух. в-во	18.2	20.1	19.6
клетчатка		32.4	32.4	32.6
жир		2.6	2.6	2.4
зола		7.1	7.4	7.5
БЭВ		39.80	37.50	38.00
кормовая единица	кг/сух в-во	0.66	0.67	0.65
переваримый протеин, г		131.4	148.2	143.2

НСР₀₅ протеин 1.5; клетчатка 2.5; жир 0.02; зола 0.04; БЭВ 3.5; корм. ед. 0.01; пер.протеин 3.8

Во всех случаях существенно высокий урожай просо сопровождался повышением энерго- протеиновых индикаторов зеленой массы как ответная реакция на снижение воздействия критических стресс- условий этого мерзлотного региона. В этом восприятии, оценка агротехнологических приемов возделывания просо на мерзлотной почве позволяет обосновать практическую их реализацию для качественного расширения кормовой базы в этих Арктических широтах России.

Таким образом, при внесении минеральных удобрений выявлено достоверное увеличение содержания сырого протеина, зольных веществ и жира. 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 до 0.66 и 146.0 г. соответственно. 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 обеспечивались высоким энерго-протеиновым состоянием посевов в отличие от мерзлотной лугово-черноземной почвы.

7.5. Экономический эффект возделывания

Среди основных критериев оценки урожая просо при возделывании на мерзлотных почвах Республики Саха (Якутия), помимо энергетического статуса и кормовых достоинств, выступает оценка и экономических рисков возделывания этой культуры в мерзлотных режимах. В этом совокупном подходе формируется триада критериев по оценке технологической, кормовой и экономической ценности возделывания просо в этих режимах. Соответственно, расклад по общепринятой схеме в оценке экономической эффективности возделывания просо под нагрузкой изучаемых признаков представляет собой типичную классическую панораму базовых экономических параметров. Выявленные позитивные характеристики последних по вариантам опыта подтвердились и показателями экономической обоснованности возделывания просо. Ранее такой подход с сочетанием таких критериев оценки урожая культуры просо никогда ранее не предпринимался и, как правило, ограничивался только показателями урожая (Андреева и др., 2020; Дюсибаева и др., 2020; Уогинтас, 2022; Анохина и др., 2022).

Возделывание культуры просо в мерзлотном земледелии с получением достоверно высокого урожая при высоких кормовых достоинствах подтвердилась пакетом оценки экономической эффективности. Анализ экономических показателей эффективности возделывания просо в условиях орошения на лугово-черноземной мерзлотной почве подтвердил позитивный отклик просо на поступление минеральных удобрений. На контрольном варианте (без удобрений) при низкой продуктивности с 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%. Высокие показатели отмечены в варианте при внесении удобрений NPK_{120} которая достигала 3795 к.ед. при стоимости продукции 57500 руб/га с высокими прямыми затратами (47140 руб/га) и наибольшим условно чистым доходом (10360 руб/га) при высокой рентабельности 22% (табл.57).

Таблица 57 - 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 1га	руб / га			%	
мерзлотная лугово-черноземная почва (минеральные удобрения и орошение)									
ПР-1. У/О	контроль, без удобрений	схема посева междурядий, 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 и орошение)									
ПР-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		

При внесении минеральных удобрений экономический эффект возделывания просо на типичных мерзлотных почвах существенно возрастал. Показатели продуктивности и условно чистый доход значительно возрастали, обеспечивая в этом значительное снижение экономических рисков возделывания. Как следствие, уровень рентабельности достигал 22 % с колебаниями 13-19 %.

Существенные различия в экономических показателях с разными схемами междурядий не выявлено. Во всех случаях внесение полного минерального

удобрения (NPK_{90} и NPK_{120}) сопровождалось и лучшими в сравнении с контролем экономическими выкладками (табл.57).

На мерзлотной аллювиальной дерновой почве экономический эффект возделывания просо на зеленую массу при раннем посеве в первой декаде июня обеспечивало наименьшие риски возделывания этой культуры согласно выявленным экономическим оценкам (табл.57). В первой декаде июня обеспечивалась наибольшая продуктивность с 1 гектара (4752 к.ед.) при стоимости продукции (54300 руб/га), несмотря на высокие прямые затраты (44774 руб/га), с высокой рентабельностью, которая достигала рентабельность 21% (табл.57). Во втором сроке посева при стоимости продукции 46625 руб/га получена меньшая рентабельность - 5%. Причем, в случае позднего посева (третья декада июня) возделывание просо сопровождалось экономическими рисками в полном проявлении - рентабельность возделывания отсутствовала. Именно на раннем сроке посева ранее выявлен наибольший урожай просо (табл.50) и лучшие энерго-протеиновые характеристики.

Согласно мнению целого ряда авторов, в условиях рыночных экономических притязаний, оценка конкурентоспособности конкретной культуры оценивается путем прямого сравнения показателя вклада в покрытие постоянных издержек (ВППИ), с определением величины равновесной урожайности (РУ) (табл.58). Анализ такой конкурентной способности просо на мерзлотных почвах подтвердил ранее выявленные закономерности при возделывании других однолетних кормовых культур (подсолнечник, кукуруза, редька масличная) при наличии некоторых частных проявлений, которые обусловлены отличными и разными биологическими и морфологическими признаками, а также схемой возделывания.

На мерзлотной лугово-черноземной почве наибольший урожай просо (230 ц/га) получен при внесении полного минерального удобрения (NPK_{120}) и значительно большей величиной вклада в покрытие постоянных издержек (10360 руб/га) при высокой стоимости продукции (57500 руб/га) (табл.58). При этом, уровень фактического урожая (230 ц/га) превышал величину равновесного урожая (196 ц/га) подтверждая обоснованность конкурентности возделывания кормовой

культуры просо в этих условиях региона. В этой оценке, критерии высокой конкурентности культуры просо в агротехнологической схеме обеспечиваются внесением полного минерального удобрения (NPK₉₀ и NPK₁₂₀).

Таблица 58 - Конкурентная способность возделывания просо и вклад в покрытие постоянных издержек на мерзлотных почвах

Варианты опытов			Урожай, ц/га	Стоимость продукции, руб	ВППИ, руб/га	РУ, ц/га
мерзлотная лугово-черноземная почва (код опыта ПР-1. У/О)						
контроль, без удобрений	схема посева междурядий, см	15	156.4	39100	1816	149.1
		30	148.2	37050	-100	148.6
NPK ₉₀		15	212.0	53000	8312	178.8
		30	201.1	50275	5766	178.0
NPK ₁₂₀		15	230.0	57500	10360	188.6
		30	219.6	54900	7933	187.9
мерзлотная аллювиальная дерновая почва (код опыта ПР-2. С/О)						
июнь	I декада		217.2	54300	9526	179.1
	II декада		186.5	46625	2111	178.1
	III декада		107.0	26750	-16703	173.8

Последнее сопровождается значительным снижением рисков возделывания и получения урожая этой культуры в мерзлотных режимах. На мерзлотной аллювиальной дерновой почве конкурентная способность возделывания просо доказано, что лучшим сроком посева этой культуры на кормовые цели следует считать ранний - первая декада июня. Преимущество этого срока посева по вкладу в покрытие постоянных издержек по отношению ко второму сроку (вторая декада июня) составила 9526 (21%). В целом, экономическая оценка возделывания просо на типичных мерзлотных почвах региона подтвердила высокие возможности получения урожая зеленой массы при соблюдении агротехнологических мероприятий.

Заключение

Общепризнанная высокая пластичность просо в сочетании с высокой адаптацией к крайним проявлениям режимных процессов (аридность и мерзлота) позволяет по результатам многолетних исследований включить эту ценную кормовую культуру в реестр высокопродуктивных и значительно пополнить скудный кормовой баланс Субарктической провинции. Подобное достигнуто благодаря комплексу мероприятий, которые позволяют существенно снизить риски возделывания просо в жестких проявлениях мерзлотных режимов. Доказан позитивный эффект внесения полного минерального удобрения на мерзлотной лугово-черноземной почве и посев просо в первой декаде июня на мерзлотной аллювиальной дерновой почве, которые обеспечивают наибольший урожай зеленой массы, благодаря повышению энергетического статуса посевов с улучшением качественных характеристик кормовых достоинств.

Специфика снижения рисков возделывания просо на этих почвах обоснована позитивным откликом растений на эти изучаемые признаки при орошении и обеспечивается доказанным высоким экономическим эффектом в сочетании с конкурентной способностью. Подобная триада критериев (оценка энергетического статуса, кормовых достоинств и экономического эффекта) в обоснованности рисков возделывания служит ключом к реализации и масштабированию агротехнологических приемов возделывания этой культуры на мерзлотных почвах Республики Саха (Якутия).

Результативность исследований позволила выявить специфические проявления морфометрических изменений и кинетических характеристик просо в онтогенезе. Совокупность этих параметров позволяет получать устойчивые урожаи зеленой массы даже при дефиците тепловых ресурсов и доминировании холодных воздушных масс. На мерзлотной лугово-черноземной почве при внесении NPK_{120} урожай просо достигал 230 ц/га, который обеспечивался наибольшим приращением валовой энергии 79.0 ГДж/га и с наибольшим выходом протеина 18.9% на абсолютно-сухое вещество.

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 ($t_{\text{ф}} > t_{\text{ст}}$) 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 урожаев.

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 ($t_f > t_{st}$) 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) → суданская трава (18.7) и просо (18.9) → кукуруза (20.3) → редька масличная (21.3%). Адекватное и достоверное ранжирование выявлено и по содержанию переваримого протеина (г): подсолнечник (115) → суданская трава (142.2) → просо (146.0) → кукуруза (158.1) → 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 ($t_f > t_{st}$) 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 → 36.8 ГДж/га), энергетического коэффициента (3.42 → 3.38) и коэффициента производства кормов (1.73 → 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 культуры 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдонин, Н. С. Научные основы применения удобрений. - М.: Колос, 1972. - С.115-140.
2. Агафонов, Е. В. Локальное внесение удобрений под подсолнечник / Е.В. Агафонов, Л.Н. Агафонова, Г.Е. Мажуга // Зерновые культуры. - 1998. - № 6. - С.12-14.
3. Акимов, А. А., Платонов И. А. Роль макро- и микроэлементов в жизни растений //Инновационные подходы к развитию науки и производства регионов: взгляд молодых ученых. - 2021. - С. 38-41.
4. Акимова, А.С. Суданская трава / А.С. Акимова. - Горький, 1954. - 20 с
5. Алабушев, А. В., Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Ермолина Г. М. Кормовая ценность суданской травы в зависимости от срока уборки. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(4): 343-350. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.4.343-350>
6. Амелин, А. В. Повышение активности и эффективности фотосинтеза культурных растений с помощью селекции //Зернобобовые и крупяные культуры. - 2016. - №. 2 (18). - С. 89-94.
7. Андреева, О. Т. и др. Перспективные малораспространенные мятликовые и зернобобовые кормовые культуры //Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. - 2020. - Т. 50. - №. 4. - С. 32-39.
8. Андреева, О. Т. Продуктивность и питательность суданской травы в одновидовых и поливидовых посевах / О. Т. Андреева, Н. Г. Пилипенко, Л. П. Сидорова, Н. Ю. Харченко // Кормопроизводство. - 2020. - № 7. - С. 28-31.
9. Андроханов, В. А. Состояние и перспективы развития почвенных и агрохимических исследований в Сибири / В. А. Андроханов, Б. А. Смоленцев, Д. А. Соколов [и др.] // Почвы - стратегический ресурс России. Том Часть 1. - Москва-Сыктывкар: Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, 2022. - С. 31-45.
10. Андрюхов, В. Г. Подсолнечник. - М.: Россельхозиздат, 1975. - 68 с.

11. Анохина, Т. А., Уогинтас В. Р., Куделко В. Н. Влияние основных приемов агротехники на урожайность зерна и зеленой массы проса при его возделывании в Витебской области // Земледелие и селекция в Беларуси. - 2022. - №. 51. - С. 145-152.

12. Антимонов, А. К. Селекционная ценность перспективных сортов суданской травы в ФГБНУ "Поволжский НИИСС" / А. К. Антимонов, Л. Ф. Сыркина, Л. А. Косых, О. Н. Антимонова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2018. - Т. 20. - № 2-2(82). - С. 396-399.

13. Антимонова, О. Н. Формирование урожайности сортов проса посевного в зависимости от гидротермических условий / О. Н. Антимонова, Л. Ф. Сыркина // Вестник КрасГАУ. - 2020. - № 10(163). - С. 74-82. - DOI 10.36718/1819-4036-2020-10-74-82.

14. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. - Москва : МГУ, 1970. - 486 с.

15. Арнон, Д. И. Хлоропласты и фотосинтез // Структура и функция фотосинтетического аппарата. - 1962. - С. 181.

16. Артемьев, А. А., Гурьянов А. М., Капитанов М. П., Пронин А. А. Влияние срока сева и минерального питания на продуктивность однолетних травосмесей. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(5):735-744. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.735-744>

17. Артемьев, А. А., Гурьянов А. М., Капитанов М. П., Пронин А. А. Оценка агроклиматических условий и предшествующей культуры для возделывания промежуточных культур в лесостепи Поволжья. Международный сельскохозяйственный журнал. 2019; 3 :9-12. DOI: <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2019-13036>

18. Артемьев, А. А., Гурьянов А. М., Капитанов М. П., Пронин А. А. Экономическая и энергетическая оценка возделывания промежуточных культур в поукосных и пожнивных посевах. Кормопроизводство. 2018;(10):11-15. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36301717>

19. Асеева, Т. А. Природные, экономические и технологические условия развития сельского хозяйства Дальнего Востока / Т. А. Асеева, Е. П. Киселев, Г. И. Сухомиров // Сельское хозяйство Дальнего Востока: условия, проблемы и потенциал развития. - Хабаровск : Институт экономических исследований Дальневосточного отделения РАН, 2020. - С. 12-65.

20. Афанасьева, В. Е. Изучение сортов и гибридов нетрадиционных культур в условиях криолитозоны / В. Е. Афанасьева, Л. Я. Конощук, В. В. Осипова // Устойчивое развитие сельского хозяйства и агросистем будущего в Арктике : Якутск, 30 ноября 2023 года. - Якутск: Издательство "Знание-М", 2023. - С. 746-751.

21. Байбеков, Р. Ф. Методы исследования городских почв : учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 11.01.01- агрохимия и агропочвоведение, экология / Р. Ф. Байбеков [и др.] ; МСХ РФ, РГАУ - МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва : ФГОУ ВПО РГАУ - МСХА им. К. А. Тимирязева, 2007. - 202 с.

22. Балакин, А. В. Влияние почвенных гербицидов на урожайность кукурузы на зерно в условиях Центрального Черноземья / А. В. Балакин, Н. В. Беседин // Курск: Изд-во Курск. Гсха 2019. - С. 26-29

23. Балаур, Н. С., Воронцов В. А., Меренюк Л. Ф. О присутствии фитогормонов в процессе формирования элементов С 4 синдрома у листьев кукурузы и колоса Тритикале // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. - 2017. - №. S12. - С. 106-108.

24. Бараев, А.И. Почвозащитное земледелие : Избр. тр. / А. И. Бараев; [Редкол.: А. Н. Каштанов (отв. ред.) и др.]. - Москва : Агропромиздат, 1988. - 381 с.

25. Бассэм, Дж. А., Бьюкенен Боб. Б. Пути фиксации двуокиси углерода у растений и бактерий // Фотосинтез. Под ред. Говиджи, 1.2. - М.: Мир, 1987. - С. 220-272

26. Батудаев, А.П. Теоретические и практические основы продуктивности севооборотов и плодородия почв в Западном Забайкалье : Дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 : Новосибирск, 2003 370 с. РГБ ОД, 71:04-6/42

27. Батыгин, Н.Ф. Физиология онтогенеза // Физиологические основы селекции растений. Теоретические основы селекции, Т. II - С.-Пб.: ВИР, 1995. - С. 14-97.
28. Бацазова, Т. М. и др. Фотосинтетическая деятельность смешанных посевов сельскохозяйственных культур в предгорной зоне РСО-Алания //Тенденции развития науки и образования. - 2020. - №. 59-1. - С. 5-8.
29. Белевцев, Д. Н. Сроки посева и глубина заделки семян подсолнечника / Д. Н. Белевцев, В. Д. Горбаченко, Н. Я. Тимашенко и др. // Технические культуры, 1990. - 18 с.
30. Бельченко, С. А. Формирование высокопродуктивных агроценозов кукурузы и сорговых культур на агро-серых почвах Брянского ополья. / Бельченко С. А, Дронов А. В., Ториков В. Е. Вестник УГСХА. -2018 -№3. -С. 46-53
31. Бендер, О. Г. Сезонная динамика интенсивности фотосинтеза и дыхания у широтных экотипов *Pinus sibirica*: исследование *ex situ* //Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. - 2023. - Т. 22. - №. 1. - С. 39-43.
32. Бенц, В. А. Полевое кормопроизводство в Сибири / В. А. Бенц, Н. И. Кашеваров, Г. А. Демарчук // РАСХН. СО СибНИИ кормов. - Новосибирск, 2001. - 240 с.
33. Берри, Дж. А., Даутон Дж. С. Зависимость фотосинтеза от факторов окружающей среды // Фотосинтез. Под. ред. Говинджи, т. 2. - М.: Мир, 1987. - С. 273-364.
34. Бессонов, А. В. Просо - культура высоких урожаев. - Тамбов: Кн. изд. 1961.-16 с.
35. Бикбулатов, З. Г. Суданская трава ценная кормовая культура / Бикбулатов З. Г., Леонтьев И. П., Лукманова Ф. Х. // Кормопроизводство. - 1997. - №7. - С.22-23.
36. Бойко, В.С. Полевое кормопроизводство на орошаемых черноземах в лесостепи Западной Сибири : монография / В. С. Бойко; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России), Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Омский аграрный научный

центр" (ФГБНУ "Омский АНЦ"). - Омск : ФГБНУ "Омский АНЦ", 2019. - 311 с. : табл., цв. ил.; 21 см.; ISBN 978-5-604127-7-9

37. Бойко, В.С. Агромелиоративные приёмы повышения продуктивности орошаемых земель: монография/ В.С. Бойко, А.Е. Сницарь/ Рос. акад. с.-х. наук. Сиб. отд-ние, Сиб. науч.-исслед. ин-т сел. хоз-ва, Ом. гос. аграр. ун-т.- Омск, 2002.- 160 с.

38. Бойнов, А.И. Северное земледелие [Текст] : [учебное пособие для студентов высших учебных заведений] /А. И. Бойнов; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Департамент науч.-технол. политики и образования, Якут. гос. с.-х. акад. - Якутск :Сахаполиграф издат, 2007. - 231 с

39. Больдисов, Е. А. Продуктивность гибридов подсолнечника в Курской области и Краснодарском крае в зависимости от норм высева семян и применения минеральных удобрений / Е. А. Больдисов, А. С. Бушнев // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК, 2017. Вып. 1(169). - С.58-63.

40. Борисоник, З. Б. и др. Подсолнечник. - Киев: Урожай, 1985. - 160 с

41. Будажапов, Л. В. Кинетика трансформации азота удобрений в агроландшафтах забайкалья: константа скорости поглощения растениями, роста почвенных микроорганизмов и превращений в азотном балансе //Фундаментальные концепции физики почв.- 2019а. - С. 390-393.

42. Будажапов, Л. В. Концепция биокинетической оценки трансформации азота в системе почва-удобрение-растение //Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. ВР Филиппова. - 2014. - №. 1. - С. 27-33.

43. Будажапов, Л. В. Особенности трансформации азота удобрений в мерзлотных почвах Забайкалья (по данным с ^{15}N) //Материалы науч.-практ. конф., Нижний Новгород, 2-5 дек. - 1998. - С. 19.

44. Будажапов, Л. В. Плодородие и азотминерализующий потенциал почв: статистики, модели диагностики и кинетика процесса / Л. В. Будажапов, А. К. Уланов, А. С. Билтуев // Плодородие. - 2022. - № 6(129). - С. 46-49. - DOI 10.25680/S19948603.2022.129.12.

45. Будажапов, Л. В. Управление плодородием каштановой почвы и прогнозные сценарии урожая яровой пшеницы: цифровая база, статистики и модели диагностики (по данным длительного полевого опыта Географической сети опытов с удобрениями) /Л. В. Будажапов, А. К. Уланов, А. С. Билтуев //Плодородие. -2021. -№3(120). -С. 39-44. -DOI 10.25680/S19948603.2021.120.06.

46. Будажапов, Л. З. В. Биокинетический цикл азота в системе почва-удобрение- растение в условиях Забайкалья : специальность 06.01.04 "Агрохимия" : диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / БудажаповЛубсан-Зонды Владимирович. - Москва, 2009. - 308 с.

47. Будажапов, Л. З. В. Биокинетический цикл азота и оборот азотных пулов / Л. З. В. Будажапов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Российская академия наук Сибирское отделение, Бурятский научно-исследовательский институт сельского хозяйства. - Москва : Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2019б. - 288 с. - ISBN 978-5-9238-0255-9.

48. Будажапов, Л. З. В. 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 // Аграрная наука - сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, стран СНГ и BRICS, Красноярск, 29 ноября 2022 года. - 2023а. - С. 21-22.

49. Будажапов, Л. В. Кинетика минерализации почвенного азота и активности почвенных микроорганизмов в азотминерализующем потенциале почв (в развитии научных идей Д. Н. Прянишникова по проблемам азота) / Л. В. Будажапов, Г. П. Гамзиков // Материалы международной научно-производственной конференции с международным участием, Красноярск, 20-22 июля 2022 года. - Красноярск:, 2023б. - С. 36-43. - DOI 10.52686/9785604525050_51.

50. Будажапов, Л. З. В. Кинетика процессов внутрипочвенной трансформации азота криоаридных почв Азиатской России: масштаб проявлений, активность микробного пула и прогнозные сценарии / Л. З. В. Будажапов // Почвы и окружающая среда : Всероссийская научная конференция с международным

участием, посвященная 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, 02-06 октября 2023 года. - Новосибирск, 2023. - С. 41-44.

51. Будажапов, Л. В. Кинетика усвоения азота зерновыми культурами в аридных условиях азиатской России: различия и перспективы оценки / Л. В. Будажапов, Т. Э. Будажапова // Растительность Байкальского региона и сопредельных территорий : материалы всероссийской конференции с международным участием, Улан-Удэ, 26-27 октября 2023 года. - Улан-Удэ: Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова, 2023в. - С. 97-99.

52. Будажапов, Л.В. Признаки современной парадигмы в оценке продуктивности яровых зерновых культур в мерзлотном земледелии Забайкалья / Л.В. Будажапов, А.С. Билтуев, М.Ж. Будажапова //Адаптивные технологии в современном земледелии Восточной Сибири. Междун. конф. (23 - 24 декабря 2005 г.) - Улан - Удэ: Изд - во БГСХА, 2005. -С.24 - 27.

53. Буряков, Ю. П. Индустриальная технология возделывания подсолнечника - М.: Высшая школа, 1983. - 191 с.

54. Быков, О. Д. Внешние и внутренние параметры фотосинтетического CO₂-газообмена и связь их между собой //Научно-технический бюллетень ВИР, - 1985, вып. 150. - С. 16 - 23.

55. Вавилов, М. Н. Литостратиграфия триасовых отложений Северного Верхоянья //Био-и литостратиграфия триаса Сибири. М.: Наука. - 1982. - С. 37-47.

56. Вавилов, Н.И. Мировые ресурсы сортов хлебных злаков, зерновых бобовых, льна и их использование в селекции. Опыт агро- экологического обзора важнейших полевых культур. М.—Л., АН СССР, 1957, 463 с, портр., рис., табл., 5 вкл. л. илл., карт.

57. Вавилов, Н.И. Растениеводство.- С.-х. энц., изд. 2, перераб., т. 4, 1940, с. 21—24, табл., карт. Литература с. 24.

58. Вавилов, П.П. Практикум по растениеводству / П. П. Вавилов, В. В. Гриценко, В. С. Кузнецов; Под ред. П. П. Вавилова. - М.: Колос, 1983. - 352 с.

59. Вавилов, П.П. Растениеводство [Текст] : [для аграрных специалистов] / [П. П. Вавилов и др.] ; под ред. П. П. Вавилова. - 5-е изд., доп. и перераб. - Москва : Агропромиздат, 1986. - 512 с. : ил.; 27 см. - (Учеб. и учеб. пособия для вузов).
60. Вавилов, П.П., Балышев Л.Н. Полевые сельскохозяйственные культуры СССР. - М.: Колос, 1984. - 159 с.
61. Вавилов, П. П. Растениеводство /, В. В. Гриценко, В. С. Кузнецов; под ред. П. П. Вавилова - 2-е изд. - М.: Колос, 1981. - 432 с.
62. Васильев, Д.С. Агротехника подсолнечника - М.:Колос, 1983. - 197 с.
63. Васильев, Д.С. Подсолнечник - М.: Агропромиздат, 1990. - 174 с.
64. Васильев, М.С., Петрова, А.Н. Температурный режим холодного периода в Арктической зоне Якутии за 1960-2022 гг. / Природные ресурсы Арктики и Субарктики. - 2024. - Т. 29. - № 1 - С. 60-68. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-1-60-68>
65. Васин, В. Г. Растениеводство. / В. Г. Васин, А. В. Васин, Н. Н. Ельчанинова // Самара: РИЦ СГСХА. - 2009. - 528 с.
66. Васин, В. Г. Урожайность и кормовые достоинства гибридов кукурузы при внесении минеральных удобрений и стимуляторов роста / В. Г. Васин, И. К. Кошелева // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2018.- № 2(42). - С. 45-53.
67. Витковская, С.Е., Дричко В.Ф., Хофман О.В. Оценка скорости нарастания биомассы сельскохозяйственных культур //Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. - Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук", 2014. - №. 1. - С. 50-53.
68. Владимиров, Л.Н. и др. Научные основы растениеводства Якутии //Современные проблемы и перспективы развития агрохимии, земледелия и смежных наук о плодородии почв и продуктивности культур в Сибири. - 2023. - С. 52-56.
69. Волков, А. И., Сидоров О. О., Фаттахова О. В. Способ повышения рентабельности возделывания кукурузы //Пища. Экология. Качество. - 2020. - С. 132-134.

70. Володарский, Н.И. Биологические основы возделывания кукурузы / Н.И. Володарский - 2-е изд. перераб. и дополн. - М.: Агропромиздат, 1986. - 189 с.

71. Вронских, М.Д. Прогрессивная технология возделывания подсолнечника / М.Д. Вронских, П.Л. Нагирняк, А.М. Батура, К.Я. Чаботарь. - Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1988. - 276 с.

72. Гавриленко, В.Ф. Большой практикум по фотосинтезу: учеб. пособие для студентов вузов / В.Ф. Гаврилиенко, Т.В. Жигалова. - М.: Издательский центр «Академия», 2003. - 256 с.

73. Гавриленко, В.Ф. Фотосинтетический энергообмен высокопродуктивных сортов пшеницы //С.-х. биология. - 1990. - №. 1. - С. 103.

74. Гаврильев, П. П. Световой и радиационный режим луговых трав в Центральной Якутии/Ботанические материалы о Якутии - Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1975. - С. 109 - 120.

75. Гаврильев, П. П., Угаров И. С. К оценке получения максимального урожая лугов в Центральной Якутии//Материалы V симпозиума по биологическим ресурсам Севера. - Магадан, 1973. - С. 286-290.

76. Галеев, Р. Р. Перспективы производства зерновых культур в современном земледелии Западной Сибири / Р. Р. Галеев, И. С. Самарин //Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы : сборник статей XV Международной научно-практической конференции, Пенза, 26-27 ноября 2020 года. - Пенза: Пензенский ГАУ, 2020. - С. 33-36.

77. Гамзиков, Г. П. Биокинетическая оценка иммобилизации азота удобрений в криоаридных почвах Забайкалья / Г. П. Гамзиков, Л. З. В. Будажапов // Биосферные функции почвенного покрова : Пушино, 08 октября - 16 2010 года. - Пушино, 2010. - С. 73-74.

78. Гамзиков, Г. П. Влияние биомассы растений на азотный режим серой лесной почвы и продуктивность полевых культур / Г. П. Гамзиков, С. З. Сулейменов // Российская сельскохозяйственная наука. - 2020. - № 4. - С. 32-36. - DOI 10.31857/S2500262720040080.

79. Гамзиков, Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири / Г. П. Гамзиков. - Москва : Федеральное государственное унитарное предприятие "Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр "Наука", 1981. - 267 с.

80. Гамзиков, Г.П. Проблемы агрохимии в современном земледелии //Инновации и продовольственная безопасность. - 2013. - №. 1. - С. 88-100.

81. Гамзикова, О. И. Изменение агрохимических параметров сибирских почв при длительном применении удобрений / О. И. Гамзикова, Г. П. Гамзиков // Тезисы докладов VII Съезда почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции, Белгород, 15-22 августа 2016 года / Том Часть II. - Белгород: Издательский дом "Белгород", 2016. - С. 147-148.

82. Гамзикова, О.И. Этюды по физиологии, агрохимии и генетике минерального питания растений / отв.ред.акад. РАСХН Г.П. Гамзиков; Рос.акад. с.-х. наук, Сиб. отд-ние, Новосиб. гос. аграр. ун-т. - Новосибирск: ИПФ «Агрос», 2008. - 372 с.

83. Ганжара, Н.Ф. Почвоведение. / Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. // Практикум. М., ИНФРА-М, 2014, 256 с.

84. Ганжара, Н.Ф. Практикум по почвоведению. / . Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. // М., Агроконсалт, 2002, 280 с.

85. Ганжара, Н.Ф. Практикум по почвоведению. / Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. // М., Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2012, 285 с.

86. Гасанов, Г.Н. Программирование урожаев зерна кукурузы при орошении в условиях Дагестана / Г.Н. Гасанов, К.К. Хабибуллаев, Г.Р. Гасанбеков, Г.Н. Шахбазов // Интенсивное земледелие и программирование урожаев: сборник научных трудов. - Йошкар - Ола. - 1984. - С. 67-69

87. Гейдарова, Р. Х. Влияние совместного внесения минеральных и органических удобрений на развитие и урожайность кукурузы / Р.Х. Гейдарова // Бюллетень науки и практики. - Т. 6. № 3. 2020. - С. 236-240.

88. Герасимов, Е.Ю. Изменение химического состава и питательности кукурузы в заключительные периоды развития / Е.Ю. Герасимов, М.А. Демина, С.Н. Завиваев, Н.Н. Кучин // Вестник НГИЭИ. - 2013. - №4 (23). - С. - 32-39

89. Головацкая, И.Ф. и др. Роль экзогенных стероидных фитогормонов в регуляции функционирования фотосинтетического аппарата растений //ББК 28.57: 42.15 А43 Редакционная коллегия. - 2018. - С. 103.

90. Головацкая, И.Ф., Карначук Р.А. Роль зеленого света в жизнедеятельности растений //Физиология растений. - 2015. - Т. 62. - №. 6. - С. 776-791.

91. Горбачева, А. Г. Реакция гибридов кукурузы на температурный режим в период прорастания / А. Г. Горбачева, А. Э. Панфилов, И. А. Ветошкина, Е. С. Иванова // Кукуруза и сорго. 2014. -№ 2. - С. 20-24.

92. Гулидова, В.А. Кукуруза на зерно. Современные технологии возделывания: практическое руководство / В.А. Гулидова, Е.И. Хрюкина, Г.Я. Сергеев. - Воронеж: Агрохолдинг МТС "Агро-Альянс", 2017 - 51 с.

93. Гуринович, С.О, Зотиков В.И., Сидоренко В.С. Просо африканское *Pennisetum glaucum* (L) R.BR - новая культура в земледелии Центральной России. // Зернобобовые и крупяные культуры. - 2020. - №2 (34). - С.64-70. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11171

94. Дадыкин, В. П. Возделывайте кукурузу на силос в Якутии [Текст] / проф. В. П. Дадыкин ; Якут. филиал акад. наук СССР. - Якутск : Кн. изд-во, 1954. - 20 с.

95. Дедова, Э.Б. Продуктивность суданской травы при орошении на бурых полупустынных почвах Калмыкии / Э.Б. Дедова, Г.Н. Кониева, Е.А. Кравченко, А.Ф. Дружкин // Плодородие. 2012. - No2(65). - С. 44-46.

96. Денисов, Г.В., Стрельцова В.С. Световой фактор в создании высокопродуктивных лугов на мерзлотных почвах Якутии//Сельскохозяйственная биология. - 1983. - №7. - С. 23 - 30.

97. Десяткин, Р. В. Особенности почвообразования в аласных ландшафтах криолитозоны [Электронный ресурс] / Р. В. Десяткин // Вестник Российской академии наук. - 2020. - № 90 (2). - С. 160-168.

98. Десяткин, Р. В. Почвы Якутии / Р. В. Десяткин, М. В. Оконешникова, А. Р. Десяткин ; Российская академия наук, Сибирское отделение, Институт биологических проблем криолитозоны. - Якутск, 2009. - 64 с.

99. Десяткин, Р. В. Влияние увеличения глубины деятельного слоя почвы на изменение водного баланса в криолитозоне / Р. В. Десяткин, А. Р. Десяткин // Почвоведение. - 2019. - № 11. - С. 1393-1402. - DOI 10.1134/S0032180X19110030

100. Десяткин, Р.В. Почвенные исследования в Якутии на рубеже XX-XXI веков. Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023;28(4):568-573. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-4-568-573>

101. Джиффорд, М., Дженкинс Л.Д. Использование достижений науки о фотосинтезе в целях повышения продуктивности культурных растений //Фотосинтез, 1987, т. 2, - М.: Мир, С. 365-410.

102. Дмитриев, Е. А. Математическая статистика в почвоведении / Е. А. Дмитриев. - Москва : Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. - 328 с.

103. Добровольский, Г. В. Почвы речных пойм центра Русской равнины / Г. В. Добровольский. - Москва : МГУ, 1968. - 295 с.

104. Доброхотов, А.В. Экспериментальные исследования взаимосвязи между транспирацией и ассимиляцией CO₂ в посевах C₃ и C₄ культур / А. В. Доброхотов, Ю. В. Хомяков, Л. В. Козырева [и др.] // Агрофизика. - 2016. - № 1. - С. 24-31.

105. Дорофеева, М.И. Технология возделывания редьки масличной в условиях лесостепной зоны Восточной Сибири/ М.И. Дорофеева. - Иркутск: 1990. - 20 с.

106. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. - Москва : Агро промиздат, 1985. - 352 с.

107. Дробышев, А. П. и др. Основные направления интенсификации технологий производства кормовых культур в условиях Алтайского края //Вестник Алтайского ГАУ. - 2019. - №. 8 (178). - С. 5-14.

108. Дронов, А.В. Параметры экологической пластичности перспективных гибридов кукурузы при возделывании по зерновой технологии в условиях Брянской области / А.В. Дронов, С.А. Бельченко, В.Е. Ториков, В.В. Мамеев //

Инновации и технологический прорыв в АПК. - Брянск: Изд-во БГСХА, 2020. - С. 71-77.

109. Дронова, Т. Н. Возделывание суданской травы на корм в условиях орошения / Т. Н. Дронова, Н. И. Бурцева // Орошаемое земледелие. - 2019. - № 3. - С. 30-33. - DOI 10.35809/2618-8279-2019-3-8.

110. Духанин, Ю. А. Информационная оценка плодородия почв / Ю. А. Духанин [и др.] ; М-во сельского хоз-ва Российской Федерации. - Москва : Росинформагротех, 2006. - 474 с. - ISBN 5-7367-0556-7.

111. Духанин, Ю. А. Факторы окультуривания песчаных и супесчаных дерново-подзолистых почв и их эколого-агрохимическая оценка : автореферат дис. ... доктора сельскохозяйственных наук : 06.01.04 / Духанин Юрий Александрович; [Место защиты: Науч.-исслед. ин-т сел. хоз-ва центр. р-нов Нечернозем. зоны]. - Москва, 2007. - 38 с.

112. Духанин, Ю. А. Экологическая оценка взаимодействия удобрений и мелиорантов с почвой / М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Федер. агентство по сел. хоз-ву ; [Ю. А. Духанин и др.]. - Москва : Россельхоз, 2005. - 324 с.

113. Дюсибаева, Э. Н. и др. Продуктивность проса посевного (*Panicum miliaceum*) различного эколого-географического происхождения в условиях Акмолинской области // Аграрный вестник Урала. - 2020. - №. 4 (195). - С. 20-28.

114. Елагина, Е.М. Динамика функциональных составляющих дыхания в онтогенезе листьев овса // Биологические науки в школе и вузе. - 2014. - №. 15. - С. 39-44.

115. Еловская, Л.Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии : [монография] / Л. Г. Еловская ; [отв. ред. д.с.-х.н. И. А. Соколов] ; Акад. наук СССР, Сиб. отд-ние, Якут. фил., Ин-т биологии. - Якутск : ЯФ СО АН СССР, 1987. - 171, [2] с.

116. Елсуков, М.П. Возделывание однолетних кормовых культур / М.П. Елсуков, А.И. Тютюнников М.: Сельхозиздат, 1955. - 93 с.

117. Елсуков, М.П. Суданская трава / М.П. Елсуков, А.П. Мовсисянц - М.: Сельхозиздат, 1951. - 182 с.

118. Еремин, Д.И. Фосфорный режим кукурузы, выращиваемой по зерновой технологии в лесостепной зоне Зауралья /Д.И. Еремин, Е.А. Демин // Агропродовольственная политика России. - 2017. - № 5 (65). - С. 86-91

119. Ермакова, Л. И. Влияние промежуточных сидератов на биологическую активность почвы и оптимизацию минерального питания культур звена полевого севооборота. Владимирский земледелец. 2020;3(93):52-55. DOI: <https://doi.org/10.24411/2225-2584-2020-10133>

120. Ермаченко, Р.С. Оценка сравнительной продуктивности рапса и редьки масличной в условиях в ЗАО «Агрофирма Ангара» Усть-Илимского района/ Р.С. Ермаченко// Сб. тр. «Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК». - Иркутск, 2016. - С. 25-32.

121. Есепчук, Н.И. Интенсивная технология производства подсолнечника / Н.И. Есепчук, Е.К. Гриднев - М.: Агропромиздат, 1992. - 66 с.

122. Железняк, М. Н. Устойчивость природных систем и инженерных сооружений в арктике и Субарктике / М. Н. Железняк, А. Н. Федоров // Экономика Востока России. - 2020. - № 1(12). - С. 49-55. - DOI 10.25801/SRC.2020.73.31.017

123. Жученко, А.А. Стратегия адаптивной интенсификации растениеводства //С-х. биология, - 1989, № 1. - С.3-17.

124. Забазный, П.А. Кукуруза / П.А. Забазный, М.М. Когут, В.Г. Елистратова // Агротехника высокопродуктивных сортов зерновых культур. - М.: Колос, 1977. - С.211-215.

125. Завалин, А.А. Потоки азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней / А. А. Завалин, О. А. Соколов. - Москва : Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2016. - 591 с. - ISBN 978-5-9238-0207-8.

126. Завалин, А.А. Современное состояние использования азота в мировом земледелии / А.А. Завалин // Динамика показателей плодородия почв и комплекс мер по их регулированию при длительном применении систем удобрения в разных почвенно-климатических зонах : Материалы Международной научной конференции, Москва, 16-17 апреля 2018 года / Под ред. В.Г. Сычева. - Москва:

Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2018. - С. 46-54.

127. Замараев, А. Г. Энергомассообмен в звене полевого севооборота / А. Г. Замараев, В. И. Савич, В. Г. Сычев [и др.] ; Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова; Под общей редакцией академика РАСХН И.С. Шатилова. Том Часть 2. - Москва : Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2005. - 336 с. - ISBN 5-9238-0053-5.

128. Засорина, Э. В., Дзежневич В. В. Перспективы применения эм-удобрений на гибридах кукурузы в Центральном Черноземье //Инновационная деятельность науки и образования в агропромышленном производстве. - 2019. - С. 22-26.

129. Захаров, П. Я. Сроки сева и урожай проса //Матер, науч.-метод. конф. по итогам работы с.-х. опытных учреждений Поволжья. - Саратов, 1972. - С. 117-119.

130. Захарова, Е. А. Совершенствование элементов технологии возделывания проса в условиях каштановых почв Волгоградской области: диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.01 «Общее земледелие, растениеводство» / Е.А. Захарова. - Волгоград, 2019. - 164 с.

131. Зезин, Н. Н. Белково-энергетический коэффициент как показатель эффективности отрасли кормопроизводства / Н. Н. Зезин, М. А. Намятов // Кормопроизводство. - 2019. - № 6. - С. 12-17.

132. Зезин, Н. Н. Кукуруза и рапс в эколого-географическом испытании (СПК "Килачевский" Ирбитский район, Свердловская область) / Н. Н. Зезин, А. Э. Панфилов, М. А. Намятов [и др.]. - Екатеринбург, 2020. - 34 с.

133. Зезин, Н. Н. Опыт использования перспективных засухоустойчивых кормовых культур в кормопроизводстве Свердловской области / Н. Н. Зезин, М. Ю. Севостьянов, П. А. Постников [и др.]. - Екатеринбург : «Издательство «Раритет», 2023. - 82 с. - ISBN 978-5-905545-38-2.

134. Зезин, Н. Н. Подбор гибридов кукурузы и оптимальные сроки их уборки на Среднем Урале / Н. Н. Зезин, М. А. Намятов, В. А. Пелевин // АПК России. - 2018. - Т. 25, № 1. - С. 37-44.

135. Зеленский, М.И. Полярографическое определение кислорода в исследованиях по фотосинтезу и дыханию / М. Н. Зеленский; Отв. ред. Л. Н. Белл; АН СССР, Ин-т физиологии растений им. К. А. Тимирязева и др. - Ленинград : Наука : Ленингр. отд-ние, 1986. - 140 с. : ил.; 22 см.

136. Зеленский, М.И. Фотокинетические характеристики важнейших сельскохозяйственных культур и перспективы их селекционного использования // Физиологические основы селекции растений. Теоретические основы селекции, т. 2, ч. 2. - С.-Пб: ВиР, 1995. - С. 466-554.

137. Зенькова, Н.Н., Ганущенко О.Ф., Сергеева Е.В., Гуринович С.О. Формирование продуктивности и качественный состав зеленой массы африканского проса в условиях северного региона республики Беларусь. Зернобобовые и крупяные культуры. 2022; 4(44):125-130. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-4-125-130

138. Зенькова, Н.Н., Ганущенко О.Ф., Шлома Т.М., Ковалева И.В. Сырьевая база кормопроизводства и оптимизация приемов заготовки кормов. - Витебск: ВГАВМ [Электронный ресурс], - 2021. - 356 с. Режим доступа: <https://www.vsavm.by/kafedrakormoproizvodstva-i-proizvo/literatura>

139. Золотов, В.И. Фотосинтез и водный режим растений // В.И. Золотов, А.К. Пономаренко, Н.Ф. Несенов, Н.И., Цыкаленко, А.И. Разуваев, Ю.М. Пашенко // Кукуруза и сорго. - 1994. - № 1. - С. 5-7.

140. Зубарев, Ю.Н. Агроэкологические основы адаптивных севооборотов (традиции, инновации, экономика): / Ю.Н. Зубарев, Д.С. Фомин, Н.Ю. Зубарев и др. // учебное пособие с грифом Федерального УМО сельского, лесного и рыбного хозяйства. ИПЦ «ПрокростЪ», Пермь.- 2021. - 335 с.

141. Зубарев, Ю.Н. Агроэкологические основы адаптивных севооборотов (классика, цифровизация, экономика) : учебное пособие / Ю.Н. Зубарев, Д.С. Фомин, Н.Ю. Зубарев [и др.] ; под общей редакцией проф. Ю.Н. Зубарева ; МСХ

РФ, ФГБОУ ВО «Пермский аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова», - Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2022. - 264 с. : ил. ; 20 см. - Библиогр.: с. 255-261.- ISBN 978-5-94279-547-4.

142. Иванищев, В.В. О биохимических механизмах утилизации C4-кислот при фотосинтезе C4-растений // Известия ТулГУ. Естественные науки. - 2019. - №1. - С. 40-47.

143. Иванищев, В. В. Фотодыхание и C2-фотосинтез / В. В. Иванищев // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. - 2020. - № 2. - С. 73-80.

144. Иванищев, В. В. Фотодыхание, глициндекарбоксилаза и продуктивность растений / В. В. Иванищев // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. - 2021. - № 4. - С. 85-99. - DOI 10.24412/2071-6176-2021-4-85-99

145. Иванищев, В.В. Эволюционные аспекты C4-фотосинтеза //Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. - 2017. - №. 3. - С. 64-77.

146. Иванов, А.Л. Актуальные задачи современного землепользования в АПК России / А. Л. Иванов; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, ФГБУН Федеральный исследовательский центр "Почвенный институт имени В. В. Докучаева". - Москва : Изд-во МБА, 2023. - 57 с.

147. Иванов, А.Л. Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования (сельское и лесное хозяйство)” / Иванов А.Л., Куст Г.С., Козлов Д.Н. и др., ; под ред. А. И. Бедрицкого/. - Москва : ГЕОС, 2018. 285 с.

148. Иванов, А.Л. Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)” / Под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. Т. 3. М.: Изд-во МБА, 2021. 700 с.

149. Иванов, А.Л. Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: Арктическая зона, мерзлотные почвы - будущему России (сельское и лесное хозяйство)” / Под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева и А.Л. Иванова. Т. 4. М.: Изд-во МБА, 2024. 672 с.

150. Иванов, Б.И., Сухов В.А., Порядин В.М. Биология орошаемых зерновых и кормовых растений в Якутии. - Якутск: Кн. изд-во 1980. - С. 98-117.

151. Иванова, З.А. Совершенствование технологии возделывания кукурузы на зерно / З.А. Иванова, Ф.Х. Нагудова // Вестник научных конференций. - 2015 - №3-2(3). - С. 65-67.

152. Иванова, Л.С., Попов Н.Т. Технология выращивания полевых кормовых культур в заречных районах Центральной Якутии // Достижения сельскохозяйственной науки Якутии. - Якутск, 1983. - С. 91-94.

153. Иванова, Л.С., Попов Н.Т. Эффективность применения удобрений под подсолнечник Заречной зоны Центральной Якутии // Селекция и возделывание кормовых трав на Дальнем Востоке. - Новосибирск, 1982. - С. 72-75

154. Иванцова, Е.А. Болезни кукурузы / Е.А.Иванцова // Фермер. Поволжье. - 2016.- № 2 (44). - С. 78-79.

155. Израэль, Ю. А. Возможности сохранения (стабилизации) современного климата с помощью новых технологий / Ю. А. Израэль // Биосфера. - 2011. - Т. 3, № 1. - С. 1-4.

156. Исаков, Я.И. Сорго / Я.И. Исаков. М.: Россельхозиздат, 1982. - 134 с.

157. Кадоркина, В. Ф., Шевцова М. С. Использование однолетних и многолетних агрофитоценозов кормовых культур в полевом кормопроизводстве юга Средней Сибири //Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). - 2019. - №. 2. - С. 82-89.

158. Кадычегова, В. И. Суданская трава в степной зоне юга средней Сибири / В. И. Кадычегова, А. Н. Бородыня, А. Н. Кадычegov // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2014. — № 7 (117). — С.17-21.

159. Калашников, Д.В. Фитогормоны и синтетические регуляторы роста и развития растений в биотехнологии и растениеводстве / Д.В. Калашников, В. Ковалев //Сельскохозяйственная биотехнология, МСХА. - 1995. - С. 225-307.

160. Карашаева, А.С., Мазихова А.М. Фотосинтетическая деятельность растений ярового ячменя в зависимости от нормы высева //Биология в сельском хозяйстве. - 2018. - №. 3 (20). - С. 13-15.

161. Карпилов, Ю.С. Фотосинтез кукурузы / Ю. С. Карпилов. Особенности структуры и функций фотосинтетического аппарата. Пушино-на-Оке, 1974. - 170 с.

162. Кашеваров, Н.И. и др. Создание новых сортов ярового рапса, разработка технологий их возделывания и использования на корм в Сибири //Достижения науки и техники АПК. - 2009. - №. 6. - С. 36-41.

163. Кашеваров, Н.И., Ильин В.С., Кашеварова Н.Н., Ильин И.В. Кукуруза в Сибири / под общ. Ред. Н.И. Кашеварова. - Новосибирск, 2004. - 400 с.

164. Кашеваров, Н.И., Полюдина Р. И., Балыкина Н. В., Штаус А. П. Суданка в кормопроизводстве Сибири/ Под ред. Н. И. Кашеварова.-Новосибирск, 2004. - 224 с.

165. Кашеваров, Н.И. Производство кормов в Западной Сибири / Н. И. Кашеваров, В. П. Данилов, А. А. Мустафин и др. - Н.: Россельхозакадемия, 2007. - 94 с.

166. Кашеваров, Н.И. Редька масличная в Сибири /Н.И. Кашеваров, А.М. Мустафин, В.В. Харчевников. - Новосибирск, 2016. - 129 с.

167. Кашукоев, М.В. Эффективность применения минеральных удобрений и биопрепаратов в посевах подсолнечника [Текст] / М.В. Кашукоев, Ж.М. Яхтанигова, В.М. Бижев //Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. - 2014. - № 5. - С. 30-32.

168. Каюмов, М.К. Биоклиматический потенциал продуктивности и приемы рационального его использования : Лекция / Всесоюз. с.-х. ин-т заоч. образования. - М. : ВСХИЗО, 1991 (1992). - 63, [1] с. : ил. ; 20 см

169. Каюмов, М.К. Программирование продуктивности полевых культур: справочник. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Росагропромиздат, 1989б. - 368 с.

170. Каюмов, М.К. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур [печатное издание] / М. К. Каюмов //Агропромиздат. - 1989а - 319 с. : ил. - (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений)

171. Каюмов, М.К. Программирование урожаев. - 2-е изд., доп. - М. :Моск. рабочий, 1986. - 180 с.

172. Керефов, К.Н. Биологические основы растениеводства: учебное пособие для студентов биологических специальностей университетов и педагогических институтов / К.Н. Керефов. - Москва: Высшая школа, 1975. - С. 335-339.

173. Кефели, В. И. Физиологические основы конструирования габитуса растений //М: Наука.-1994.-269 с. - 1994.

174. Кидин, В. В., Ильюк Е. Н. Использование растениями и особенности трансформации аммонийного и нитратного азота разных горизонтов дерново-подзолистой почвы //Агрохимия. - 2006. - №. 11. - С. 1-10.

175. Кидин, В.В. Агрохимия : учебное пособие / В.В. Кидин. - Москва ИНФРА-М, 2023. - 351 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). - DOI 10.12737/6244.

176. Киризий, Д.А. Азот листа: фотосинтез и реутилизация// Физиология растений и генетика. -2017.-№.49, №5.-С.371-383.

177. Кирюшин, В. И. Агротехнологии : учебник для подготовки магистров по направлению "Агрохимия и агропочвоведение" / В. И. Кирюшин, С. В. Кирюшин. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2023. - 463 с., [8] л. цв. ил. : ил., табл.; 25 см. - (Высшее образование).; ISBN 978-5-507-45698-7 : 30 экз.

178. Кирюшин, В. И. Задачи научно-инновационного обеспечения земледелия России //Земледелие. - 2018. - №. 3. - С. 3-12.

179. Кирюшин, В. И. Классификация почв и агроэкологическая типология земель. - 2016. - 288 с.

180. Кирюшин, В. И. Методология комплексной оценки сельскохозяйственных земель //Почвоведение. - 2020. - №. 7. - С. 871-879.

181. Клопов, М.И. Гормоны, регуляторы роста и их использование в селекции и технологии выращивания сельскохозяйственных растений и животных:

учеб. пособие / М.И. Клопов, А.В. Гончаров, В.И. Максимов // Санкт-Петербург: Лань, 2017. - 376 с.

182. Ковалев, В.М. О применении физиологических методов в селекции и растениеводстве // С.-х. биология, 1986, №3.-С.19-27.

183. Ковалев, В.М. Теоретические основы оптимизации формирования урожая / В.М. Ковалев. - М.: Изд-во МСХА, 1997.-284с.

184. Ковалев, Ю.Н. Кормопроизводство: учеб. для студентов образоват. учреждений сред. проф. образования, обучающихся по специальности 3103 «Зоотехния» / Ю.Н. Ковалев. - Москва : Academia, 2004 (ГУП Сарат. полигр. комб.). - 237 с.

185. Ковтун, Н. В. Влияние режима использования на урожайные свойства суданской травы на зеленый корм / Н. В. Ковтун, В. А. Коваленко, Е. Н. Шепитько [и др.] // Научный вестник Луганского государственного аграрного университета. - 2023. - № 1-2(18-19). - С. 41-48.

186. Ковтунова, Н. А. Ковтунов В. В., Шишова Е. А. Влияние метеорологических условий на урожайность и качество зеленой массы суданской травы // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2016. № 3. С. 39-40.

187. Ковтунова, Н. А., Шишова Е. А., Романюкин А. Е., Ковтунов В. В., Сухенко Н. Н. Урожайность образцов суданской травы различного эколого-географического происхождения. Зерновое хозяйство России. 2018; (1(55)):56-61. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-55-1-56-61>

188. Ковтунова, Н.А. Динамика роста и развития растений у суданской травы / Н.А. Ковтунова, А.В. Алабушев, А.Е. Романюкин, Е.А. Шишова // Вестник Марийского ГУ. Серия: С/х науки. Экономические науки. - 2018а. - Т.4. №4 (16). - С. 35-44

189. Козлова, Л. М., Носкова Е. Н., Попов Ф. А. Совершенствование севооборотов для сохранения плодородия почвы и увеличения их продуктивности в условиях биологической интенсификации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(5):467-477. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477>

190. Коконов, С. И. Биологические особенности и адаптивная технология возделывания суданской травы / С. И. Коконов, А. А. Никитин, Т. Н. Рябова ; Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. - Ижевск : Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. - 212 с. - ISBN 978-5-9620-0399-3.

191. Коломейченко, В. В Растениеводство : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 110200 "Агрономия" / В. В. Коломейченко. - Москва : Агробизнесцентр, 2007. - 596, [1] с. : ил., табл.; 24 см.; ISBN 978-5-902792-11-6 (В пер.)

192. Коломейченко, В.В. Кормопроизводство: учеб. пособие / В.В. Коломейченко. - Санкт-Петербург: Лань, 2015. - 656 с.

193. Кононов, К. Е. Луга поймы реки Лены (эколого - фитоценотический анализ) / К. Е. Кононов. - Якутск : Книжное издательство, 1982. - 216 с.

194. Конюхов, Г.И., Сухов В.А., Мишагина В.А. Рекомендации по возделыванию кормовых культур в Якутии. - Якутск, 1971.

195. Кореньков, А. А. Продуктивное использование минеральных удобрений. - М.: Россельхозиздат, 1985. - С. 13 - 197.

196. Кореньков, Д. А. Минеральные удобрения при интенсивных технологиях: Д. А. Кореньков. Москва. Росагропромиздат 1990. - с.190.

197. Кореньков, Д.А. Агрохимия азотных удобрений [Текст] / Д.А. Кореньков; АН СССР, Объедин. науч. совет. "Науч. основы химизации сел. хоз-ва", Ин-т агрохимии и почвоведения, Всесоюз. ин-т удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова ВАСХНИЛ. - Москва: Наука, 1976.-223 с

198. Корниенко, А.Д. Полевые севообороты в Центральной Якутии / А.Д. Корниенко, Х.А. Батыев, М.И. Хлебникова // Якутск. Кн. изд.-во, 1973.- 128 с.

199. Корнилов, А. А. Просо. -М.: Сельхозиздат, 1960. - 245 с.

200. Корнилов, Д.П. Полевые культуры Центральной Якутии. - Якутск: Кн.изд-во, 1978. - 96 с.

201. Косолапов, В.М. Кормопроизводство в сельском хозяйстве, экологии и рациональном природопользовании (теория и практика) / В. М. Косолапов, И. А. Трофимов, Л. С. Трофимова // - М.: 2014. - 135 с.
202. Косолапов, В.М. Адаптивное кормопроизводство / Под редакцией члена-корреспондента Россельхозакадемии В. М. Косолапова. - М. : Угрешская типография, 2010. - 274 с.
203. Кружилин, И. П. Суданская трава на орошаемых землях России [Текст] / И.П. Кружилин, В. П. Часовских. - Волгоград, 1997. - 142 с.
204. Ксенз, Н. В. и др. Обоснование методов исследования процессов энерго- и массо обмена в системе" почва - семя - растение - приземный воздух" // Вестник аграрной науки Дона. - 2020. - №. 2 (50). - С. 50-58.
205. Кузнецов, В.В. и др. Роль фитогормонов и света в процессе деэтиоляции // Физиология растений. - 2020. - Т. 67. - №. 6. - С. 563-577.
206. Кузнецова, С.А. и др. Влияние засоления на показатели фотосинтетической активности растений // Географическая среда и живые системы. -2014. -№.1. -С.63-68.
207. Кузьмина, Е. Ю. Урожай семян редьки масличной в зависимости от доз и сроков внесения минеральных удобрений //Научный электронный журнал Меридиан. - 2020. - №. 17. - С. 138-140.
208. Кулешова, Т.Э., Павлова Е.С., Галль Н.Р. Фракционирование изотопов углерода $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ из углекислого газа атмосферы в продукты фотосинтеза в листьях растений в зависимости от спектральных характеристик световой среды // Письма в Журнал технической физики. -2020. -Т.46. -№.16. -С.19-22.
209. Куликов, А. И. Мерзлотные почвы: экология, теплоэнергетика и прогноз продуктивности / А. И. Куликов, В. И. Дугаров, В. М. Корсунов. - Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 1997. - 312 с.
210. Куликов, Л.А. Кукуруза: важные особенности /Л.А. Куликов// Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овощеводства и козоводства. - 2015.- Т.1. - № 8. - С.174-177.
211. Кульман, А. Г. Общая химия. - М.: Колос, 1979. - 528 с.

212. Куперман, Ф. М. Биология развития культурных растений: учеб. пособие / Ф. М. Куперман. М.: Высшая школа, 1982. - 343 с.
213. Куперман, Ф. М. Морфология растений - М.: Издательство Высшая школа, 1973. - 358 с.
214. Куперман, Ф.М. Морфофизиология растений. - Высшая школа, 1973. - 255 с.
215. Куперман, Ф.М. Особенности развития, роста и органогенеза кукурузы / Ф.М. Куперман/ / Физиология сельскохозяйственных растений. / МГУ.-М., 1969.- Т.5. - С. 51-111.
216. Куржиев, Х.Г. Особенности формирования урожайности гибридов кукурузы в условиях недостаточного увлажнения / Х.Г. Куржиев // Агрохимический вестник. - 2009. - № 6. - С.21-23
217. Кушенов, Б.М. Продуктивность фотосинтеза и урожай кукурузы / Б.М. Кушенов / Кукуруза и сорго. - 1998. -№4. - С. 3-5.
218. Кшникаткин, С.А., Аленин П.Г., Воронова И.А. Продукционный процесс агроценозов зерновых, кормовых и лекарственных культур при бинарной обработке семян и растений физиологически активными веществами //Нива Поволжья. - 2015. - №. 3 (36). - С. 71-78.
219. Кшникаткина, А. Н. Агроэкологическое изучение масличных культур семейства Brassicaceae в условиях среднего Поволжья / А. Н. Кшникаткина, Т. Я. Прахова, А. П. Крылов // Нива Поволжья. - 2018. - № 1(46). - С. 54-60.
220. Кшнякин, В.А. Суданская трава - ценная кормовая культура / ВАХНИЛ. Сиб. отд-ние. - Новосибирск, 1983. - 4 с.
221. Лакин Г.Ф. Биометрия: учебное пособие для биол. Спец.вузов - 4-е изд., перераб. и доп. /Г.Ф. Лакин. - М.: Высш. шк.,1990. - 352 с.
222. Лакин, Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. - Москва : Высшая школа, 1980. - 293 с.
223. Лакисов, В. В. Ботаническое описание подсолнечника / В. В. Лакисов, Т. Л. Чапалда // Вклад молодежи в развитие АПК региона : сборник тезисов

конференции, Екатеринбург, 25 ноября 2022 года. Том 1. - Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2022. - С. 36-37.

224. Лаптина, Ю. А. Оптимизация параметров возделывания суданской травы в условиях Нижнего Поволжья / Ю. А. Лаптина, Ю. Н. Плескачев, О. Г. Гиченкова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и ВПО. - 2021. - № 2(62). - С. 260-270. - DOI 10.32786/2071-9485-2021-02-27.

225. Лаптина, Ю. А. Приёмы биологизации при возделывании суданской травы на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья / Ю. А. Лаптина // Биологизация земледелия: перспективы и реальные возможности. - Воронеж: Воронежский ГАУ им. Императора Петра I, 2019. - С. 156-159.

226. Ларионова, Р. Х. Продуктивность перспективных сортов гороха и овса в Южной Якутии // Экология физиолого-биохимических процессов культурных растений в Якутии. - Якутск, 1979. - С. 55-57.

227. Леонов, Д. В., Пигорев И. Я. Сорта и гибриды кукурузы в условиях земледелия Курской области //Сборник статей. - 2020. - С. 235.

228. Либберт, Э. Физиология растений [Текст] / Пер. с нем. канд. биол. наук Д. П. Викторова и д-ра биол. наук Н. С. Гельман ; Под ред. и с предисл. д-ра биол. наук В. И. Кефели. - Москва : Мир, 1976. - 580 с. : ил.; 22 см.

229. Лиф, Е.Л., Физиологические процессы, влияющие на продуктивность злакового травостоя при интенсивном его использовании / Е.Л. Лиф, В. Стайлс, С.Е. Дикенсон //Сб.материалов XII Межд. Конгресса по луговодству. Т.1.-М., 1977. -С.129-132.

230. Мазиров, М. А Влияние удобрений на плодородие почвы и урожай зеленой массы сладкого сорго / М. А. Мазиров, А. И. Беленков, З. Абудудзяба, К. Заитунигули // Владимирский земледелец. - 2022. - № 3(101). - С. 10-17. - DOI 10.24412/2225-2584-2022-3-10-17

231. Мазиров, М. А., Прогнозирование температуры почвы на различных глубинах / М. А. Мазиров, Е. В. Шеин, А. В. Дембовецкий [и др.] // Земледелие. - 2018. - № 3. - С. 18-21. - DOI 10.24411/0044-3913-2018-10303

232. Майсурян, Н.А. Практикум по растениеводству / Н.А. Майсурян. - Москва: Колос, 1970 - 446 с.

233. Макаров, В.И. Управление фотосинтетической деятельностью посевов / В.И. Макаров, В.В. Коломейченко // Земледелие. - 1989. - №12. - С.14- 17.

234. Максимова, Х.И. Просо в адаптивном кормовом севообороте в условиях Центральной Якутии / Х.И. Максимова, В.С. Николаева // Internationalagriculturaljournal. - 3/2020. - С. 10-115.

235. Максютов, Н. А. Влияние погодных условий, предшественников и фона питания на урожайность проса в степной зоне Южного Урала [Текст] 129 /Н.А. Максютов, В. М. Жданов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2016. - № 4. - С.42-45.

236. Малышева, Е.В. Влияние минеральных удобрений на урожайность и вынос элементов питания кукурузой, возделываемой в условиях ЦЧЗ / Е.В. Малышева, Н.В. Долгополова // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. - 2021. - № 3. - С. 45-49.

237. Мамеев, В.В. Влияние некорневой подкормки органо-минерального комплекса гумитон на продуктивность кукурузы на зерно // В.В. Мамеев, А.В. Дронов, В.Е. Торилов, О.А. Нестеренко, А.А. Суслов // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. - 2021. - № 3 (85). - С. 8-14

238. Мардваев, Н.Б. Влияние норм высева на урожай различных сортов суданской травы на корм [Текст] / Н.Б. Мардваев // Агрономия и агроэкология. - Ульяновск, 2008. - Т. 1. - С. 98-101.

239. Марунова, Л. К. Элементы технологии возделывания редьки масличной в чистых и смешанных посевах в лесостепи среднего Поволжья / Л. К. Марунова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. - 2018. - № 11-2. - С. 34-37. - DOI 10.24411/2500-1000-2018-10187.

240. Мастеров, А. С. Обоснование элементов технологии возделывания редьки масличной на семена в условиях северо-востока Беларуси/А.С. Мастеров, Д.В. Виноградов, Д.И. Романцевич//Вестник Рязанского ГАУ им. П.А. Костычева. - 2017. - № 2 (34). - С. 29-35.

241. Мастеров, А. С., Романцевич Д. И. Качественные показатели семян редьки масличной в зависимости от элементов технологии возделывания / Вестник Белорусской ГСХА № 2-2019. С. 168-171.

242. Мельникова, О.В. Изменение видового состава сорной растительности в агрофитоценозах при разных технологиях возделывания полевых культур // О.В. Мельникова, В.Е. Торилов, А.А. Осипов // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. - 2019. - № 1 (71). - С. 32-38.

243. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса; [Подгот. Ю. К. Новоселов и др.]. - Москва : ВИК, 1983. - 197 с. : ил.; 20 см.

244. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / Рос. акад. с.-х. наук; [Подгот. Ю.К. Новоселов и др.]. - Москва : РАСХН, 1997. - 156 с. : ил.; 20 см.

245. Методическое пособие по агроэнергетической и экономической оценке технологий и систем кормопроизводства / отв. за выпуск: А.А. Кутузова, Ю.К. Новоселов и др. - М.: Россельхозакадемия, ВНИИК, 1995. - 173 с.

246. Методическое пособие по агроэнергетической оценке технологий и систем ведения кормопроизводства // Рос. акад. с.-х. наук. Всерос. науч.-исслед. ин-т кормов им. В. Р. Вильямса. Фонд им. А. Т. Болотова; [Редкол.: Б. П. Михайличенко и др.]. - Москва, 2000. - 52 с.

247. Минеев, В.Г. Биологическое земледелие и минеральные удобрения / В.Г.Минеев, Б.Дебрецени, Т.Мазур. - М.: Колос, 1993. - 415 с.

248. Мишин, А.Б. Кукуруза и особенности ее возделывания / А.Б. Мишин, И.И. Деркач. - Барнаул: Алтайское книжное изд-во, 1978. - 71 с.

249. Моисеев, А.А. Влияние удобрений на содержание основных элементов питания в зерне кукурузы, на черноземе выщелоченном в условиях Лесостепи Среднего Поволжья / А. А. Моисеев, А. В. Ивойлов // Аграрный вестник Верхневолжья. - 2019. - № 4(29). - С. 16-25.

250. Моисеев, А.А. Реакция гибридов кукурузы на внесение удобрений и препарата микроэл при возделывании на зерно в условиях неустойчивого

увлажнения / А.А. Моисеев, П.Н. Власов, А.В. Ивойлов // Агрохимия. - 2017.-№ 6. - С. 30-38.

251. Мокроносов, А.Т. Фотосинтез и продукционный процесс // Физиология растений на службе продовольственной программы. Сер. Биология. М., 1988. -С.3-18.

252. Морозов, В.К. Подсолнечник в засушливой зоне. - Саратов: Прив. кн. изд-во, 1978. - 148 с.

253. Мосолов, В. П. Просо. - М.: Сельгиз, 1944. - С. 110 - 120.

254. Муравин, Э.А. Вопросы азотного питания растений и повышения эффективности азотных удобрений: Дис. на соиск. учен. степ. д-ра биол. наук в форме науч. докл.: (06.01.04) /Моск. с.-х. акад. им. К.А. Тимирязева. -М.: Б.и., 1991. -57, [1]с., [3] л. ил. -Библиогр.: с.53-58 (86назв.)

255. Муравин, Э.А., Ромодина Л.В., Литвинский В.А. Агрохимия (учебник). м.: изд. дом "Академия", 2014. - 303 с.

256. Мустафин, А.М. Влияние основных агротехнических приемов возделывания на семенную и кормовую продуктивность редьки масличной/А.М. Мустафин, В.В. Харчевников// Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. - 2010. - № 3. - С. 26-31.

257. Мустафин, А.М. Кормопроизводство в криолитозоне в пределах БАМа / А.М. Мустафин. - Новосибирск, 2005. - 224 с.

258. Мустафин, А.М. Однолетние кормовые культуры в системе полевого кормопроизводства Станового нагорья (зона БАМ) / А.М. Мустафин. - Новосибирск, 1993. - 211с.

259. Надточий, М.М. Способы увеличения производства проса [Текст]/М.М. Надточий// Зерновые культуры. -1991. - №4. - С.25-27.

260. Нарушев, В.Б. Инновационные технологии в агрономии: Учебное пособие Типография «Орион», Саратов, 2020.- 280 с.

261. Насыров, Ю.С. Генетическая регуляция формирования и активности фотосинтетического аппарата //Физиология фотосинтеза, - М.: Наука, 1982. -С.146-164.

262. Натр, Л. Фотосинтез //Формирование урожая основных с-х. культур. - М.: Колос, 1984.. С.37-69.

263. Нестеренко, О.А. Оценка эффективности применения комплексных удобрений при возделывании кукурузы на зерно / О.А. Нестеренко, А.В. Дронов, В.В. Мамеев, С.Н. Петрова, А.А. Лукашина // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. - 2021. - № 6. - С.20-28

264. Нестерова, И. М. Экономическая и энергетическая оценка возделывания проса на зерно в зависимости от сроков сева в условиях Северо-восточной части Беларуси // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. №4. <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-i-energeticheskaya-otsenka-vozdelyvaniya-prosa-na-zerno-v-zavisimosti-ot-srokov-seva-v-usloviyah-severo-vostochnoy>.

265. Нестерова, И. М. Энергетическая и экономическая эффективность возделывания проса на зеленую массу в зависимости от сроков сева в условиях Северо-восточной части Беларуси // Вестник Белорусской ГСХА 2021. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energeticheskaya-i-ekonomicheskaya-effektivnost-vozdelyvaniya-prosa-na-zelenuyu-massu-v-zavisimosti-ot-srokov-seva-v-usloviyah>

266. Ничипорович, А.А. Хлорофилл и фотосинтетическая продуктивность растений //В кн.: Хлорофилл. -Минск: Наука и техника. 1974. -с.49-62.

267. Ничипорович, А. А. О путях повышения продуктивности фотосинтеза растений в посевах // Фотосинтез и вопросы продуктивности растений. - М.: АН СССР, 1966-С. 5-7.

268. Ничипорович, А. А. Фотосинтез и урожай //М.: Знание. - 1966а. - С. 47.

269. Ничипорович, А. А. Фотосинтетическая деятельность растений и пути повышения ее продуктивности. -М.: Наука, 1972. - С. 520-529.

270. Ничипорович, А.А. Основы фотосинтетической продуктивности растений //Современные проблемы фотосинтеза. - М.: МГУ, 1973. - С. 5-28.

271. Ничипорович, А.А. Физиология фотосинтеза и продуктивность растений //Физиология фотосинтеза. -М.: Наука, 1982. С.7-33.

272. Ничипорович, А.А. Фотосинтетическая деятельность растений как основа их продуктивности в биосфере и земледелии //Фотосинтез и продукционный процесс. - М.: Наука, 1988. - С. 5-28.

273. Ничипорович, А.А. Энергетическая эффективность и продуктивность фотосинтезирующих систем как интегральная проблема //Физиология растений, 1978, т. 25, вып. 5. - С. 922- 937.

274. Осипова, В. В. Пигментный состав листьев люцерны (*Medicago Falcata* L., *Medicago Varia* M.) / В. В. Осипова // Достижения науки и техники АПК. - 2016. - Т. 30, № 11. - С. 66-68.

275. Осипова, В. В. Сортоизучение рапса ярового в условиях мерзлотных пойменных почв Якутии / В. В. Осипова, Л. Я. Конощук, В. Е. Афанасьева // Бойновские чтения : Октемцы, 06 апреля 2023 года / Утверждено и рекомендовано к изданию УМС АГАТУ (Протокол № 14 от 25.04.2023 г.). - Октемцы: Издательский дом Северо-Восточного федерального университета, 2023. - С. 9-12.

276. Осипова, В. В. Оценка потенциала производства экологически чистых кормов для крупного рогатого скота в Центральной Якутии / В. В. Осипова // Вестник КрасГАУ. - 2022. - № 1(178). - С. 105-110. - DOI 10.36718/1819-4036-2022-1-105-110

277. Павлов, А. В. Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории ССР. - Якутск, 1975. - 302 с.

278. Павлова, С. А. Продуктивность однолетних культур и многолетних трав при возделывании на зеленый конвейер в условиях Центральной Якутии / С. А. Павлова, Е. С. Пестерева, А. С. Филатов // Кормопроизводство, продуктивность, долголетие и благополучие животных: - Новосибирск: Издательский центр НГАУ «Золотой колос», 2018а. - С. 174-176.

279. Павлова, С. А. Формирование урожая однолетних трав при возделывании на зеленый конвейер в Центральной Якутии / С. А. Павлова // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. Новосибирск.: 2009. 21 с.

280. Павлова, С.А. Кормопроизводства в РС (Я): состояние и перспективы/ Павлова С.А., Пестерева Е.С., Захарова Г.Е. // Кормопроизводство. 2018б. № 5. С.5-8.

281. Павлова, С.А. Теоретические основы и агротехнологические приемы формирования урожая многолетних травостоев в мерзлотном земледелии Республики Саха (Якутия) : специальность 06.01.01 "Общее земледелие, растениеводство" : диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Павлова Сахаяна Афанасьевна, 2022. - 317 с.

282. Павлова, С. А. Продуктивность и качество однолетних культур для заготовки сенажа в условиях Якутии / С. А. Павлова, Е. С. Пестерева, Г. Е. Захарова // Аграрная наука. - 2020. - № 5. - С. 69-71. - DOI 10.32634/0869-8155-2020-338-5-69-71

283. Павлова, С.А., Пестерева Е.С., Захарова Г.Е., Кузьмина А. В., Жиркова Н.Н. Влияние сроков посева на урожайность перспективных однолетних кормовых культур в условиях Центральной Якутии // Аграрная наука. 2017. № 7. С.2-3. 6.

284. Панфилов, А. Э., Зезин Н. Н., Овчинников П. Ю. Биологическая продуктивность ультраранних гибридов кукурузы в различных почвенно-климатических зонах Уральского региона // АБУ. 2022. №3 (218). URL: <https://cyberleninka.ru/article/>

285. Панюков, А. Н. Концепция адаптированного земледелия на крайнем севере //Редакционная коллегия. - 2017. - С. 170.

286. Парамонов, А.В. Влияние некоторых элементов технологии возделывания на урожайность просо / International Journal of Humanities and Natural Sciences, vol.7-1. 2019. - С. 113-116.

287. Пестерева, Е.С. Способы посева перспективных однолетних кормовых культур в условиях Центральной Якутии / Е. С. Пестерева, С. А. Павлова, Г. Е. Захарова, Н. Н. Жиркова // Современные тенденции развития науки и технологий. - 2016. - № 2-1. - С. 113-117.

288. 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. - 2017. - № 7. - С. 2-3.

289. Петров, К. А., Перк А. А., Осипова В. В. Криорезистентность и формирование кормовой ценности растений Якутии. Якутск: Бичик, 2011. - 198 с.

290. Петрова, С.Н. Экономическая эффективность применения минеральных удобрений при выращивании кукурузы / С.Н. Петрова, А.А. Полухин, Ю.В. Кузмичева, Н.И. Ботуз, И.Л. Тычинская // Вестник Орловского государственного аграрного университета. - 2017. - № 2 (65). - С. 3-8.

291. Пешков, А.А. Биологические особенности и технология возделывания редьки масличной/ А.А. Пешков, Н.В. Дорофеев - Иркутск, 2008. - 145 с.

292. Пигорев, И. Я. Микроудобрения в посевах полевых культур Центрального Черноземья России / С.П. Юханов, И.Я. Пигорев // Актуальные проблемы молодежной науки в развитии АПК : - Курск : Изд-во Курской ГСХА, 2020. - С. 3-9.

293. Пискарева, Л.А. Эффективность совместного применения минеральных удобрений и стимуляторов роста при возделывании кукурузы в условиях ЦЧЗ / Л.А. Пискарева, А.Ю. Чевердин // International Journal of Humanities and Natural Sciences. - 2021. - № 5-3 (56). - С. 193-196.

294. Плешков, Б.П. Исследования по биохимии и с.-х. растений на кафедре агрономической и биологической химии //Известия ТСХА. -1982. -№.6. -С.98.

295. Пойда, В. Б. Продуктивность гибридов кукурузы в зависимости от сроков посева / В. Б. Пойда, Е. М. Фалынсков, М. А. Збраилов, Д. Н. Дергачев //КубГАУ. - 2020. - №164(10). - С. 1-10.

296. Полевой, В.В. Физиология растений : [Учеб. для биол. спец. вузов] / В. В. Полевой. - Москва : Высш. шк., 1989. - 464 с. : ил.; 24 см.; ISBN 5-06-001604-8

297. Полюдина, Р.И., Штаус А.П. Новые сорта суданки для Сибирского и Уральского регионов // научное обеспечение АПК Сибири, Монголии, Казахстана, Беларуси и Башкортостана: Материалы 5-й междунар. научн.- практ. конф.

(Абакан, 10-12 июля 2002 г.) / РАСХН. Сиб. отд-ние. - Новосибирск, 2002. - С. 144-145.

298. Попов, Н. Т. Полевое кормопроизводство Якутии и пути его интенсификации / Н. Т. Попов. - Якутск, 1987. - С. 36-84, 120.

299. Попов, Н.Т., Максимова Х.И., Николаева В.С, Сивцева А.Н. Ресурсосберегающие технологии полевого кормопроизводства в Якутии: Монография. Якутск: Изд. «Спектр», 2018.- 160 с.

300. Попов, С.Р. Заморозоустойчивость растений в условиях многолетней мерзлоты. - Новосибирск: Наука, 1982.

301. Постановление Правительства РФ от 30 сентября 2023 г. № 1614 "О внесении изменений в Федеральную научно-техническую программу развития сельского хозяйства на 2017 - 2030 годы"

302. Посыпанов, Г. С. Биологический азот; Проблемы экологии и растительного белка / Посыпанов Г. С. - Москва : Изд-во МСХА, 1993. - 267,[1] с. : ил.; 21 см.; ISBN 5-7230-0142-6

303. Посыпанов, Г. С. Влияние интенсивности возделывания бобовых трав на их симбиотическую активность, сбор белка и повышение плодородия почвы //Вестн. с.-х. науки. - 1987. - №. 9. - С. 48-50.

304. Посыпанов, Г. С. Растениеводство/Г. С. Посыпанов. - М.: Колос. 2007. - 612 с.

305. Посыпанов, Г. С. Растениеводство / Г.С. Посыпанов, В.Е. Долгодворов, Г.В. Коренев и др. ; - М.: Колос. - 1997. - 448 с.

306. Посыпанов, Г.С. Растениеводство / Г. С. Посыпанов, В. Е. Долгодворов, Г. В. Коренев и др.; Под ред. Г. С. Посыпанова - М.: Колос, 2006 - 620 с.

307. Потапов, Д.А. Повышение кормовой ценности редьки масличной в Сибири / Д. А. Потапов, Р. И. Полюдина, В. В. Харчевников // Кормопроизводство, продуктивность, долголетие и благополучие животных : Материалы международной научно-практической конференции, Новосибирск, 25 октября 2018 года. - Новосибирск: НГАУ «Золотой колос», 2018. - С. 190-192.

308. Прянишников, Д. Н. Растения полевой культуры (Частное земледелие) / Д.Н. Прянишников, И.В. Якушкин. - 10-е изд., перераб. и доп. - Москва : Сельхозгиз, 1938. - 785 с.
309. Прянишников Д. Н. Азот в жизни растений и в земледелии СССР/Д. Н Прянишников. - 1945. 197 с.
310. Прянишников Д. Н. Севооборот и его значение в поднятии урожайности //Избранные сочинения академика Д. Н. Прянишникова.-М.: Сельхозгиз. - 1953. - С. 28-52.
311. Прянишников, Д.Н. Избранные произведения: Азот в жизни растений и земледелии. - М.: Сельхозгиз, 1953. - С. 187 -196.
312. Пустовойт, В.С. Подсолнечник / Научные труды ВАСХНИЛ - Под общей редакцией академика В. С. Пустовойта - М.: Колос, 1975. - 591 с.
313. Ракутько, С.А., Ракутько Е.Н. Количественная оценка действия излучения по стабильности облучаемых растений в светокультуре //Электротехнологии и электрооборудование в АПК. -2020. -Т.67. -№.1. -С. 64-70.
314. Расторгуева, Л.И. Последствие пониженной температуры корневой среды на накопление зеленых и желтых пигментов в листьях некоторых растений //Физиол. растений. - 1964. - Т. 2. - №. 2. - С. 316-320.
315. Романцевич, Д.И. Влияние элементов технологии возделывания на динамику роста и накопления сухого вещества растениями редьки масличной / Д. И. Романцевич, А.С. Мастеров // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. - 2019. - № 2. - С. 187-190.
316. Рубин, Б.А. Проблемы физиологии в современном растениеводстве. -М.: Колос, 1979. -302с.
317. Рубин, Б.А., Гавриленко В.Ф. Биохимия и физиология фотосинтеза / Б.А. Рубин, В.Ф. Гавриленко // -М.: МГУ, 1977. -326с.
318. Сабинин, Д.А. Физиология развития растений. - М.: АН СССР, 1963. - 196 с.
319. Савельев, В.А. Растениеводство: учеб. пособие / В.А. Савельев // Санкт-Петербург: Лань, 2016. - 316 с.

320. Савенков В. П., Кузьмина Е. Ю. Урожай и качество семян редьки масличной в зависимости от особенностей применения макро-и микроудобрений и биопрепарата в условиях Центрального Черноземья //Вестник Красноярского государственного аграрного университета. - 2021. - №. 10 (175). - С. 11-18.

321. Савина, Е. А., Прудникова А. Г., Прудников А. Д. Урожайность и кормовые качества суданской травы и её смесей с зернобобовыми культурами // Кормопроизводство. 2016. №3. С. 12-15.

322. Савич, В. И Оценка земель / Савич В. И. [и др.] ; Всероссийский научно-исследовательский ин-т агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева. - Москва : ВНИИА им. Д. Н. Прянишникова, 2010б. - 452 с. : ил., табл.; 20 см.; ISBN 978-5-9238-0109-5

323. Савич, В. И. Интегральная оценка плодородия почв / В. И. Савич, Д. С. Булгаков, Н. Г. Вуколов [и др.]. - Москва: Российский ГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева, 2010а. - 347 с. - ISBN 978-5-9675-0452-5.

324. Савич, В. И. Энергетическая оценка плодородия почв / В. И. Савич [и др.] ; Московская с.-х. акад. им. К. А. Тимирязева, Всероссийский науч.-исслед. ин-т агрохимии им. Д. Н. Прянишникова (Россельхозакад.). - Москва : 2007. - 499 с.

325. Савич, В.И. и др. Баланс биофильных элементов в системе почва - растение //Вестник Башкирского государственного аграрного университета. -2016. -№.1. -С.14-20.

326. Савич, В.И. Применение вариационной статистики в почвоведении / В. И. Савич. - Москва : ТСХА, 1972. - 102 с.

327. Сальникова, Е. А. Урожайность и качество двухкомпонентных посевов суданской травы с однолетними бобовыми культурами в горно-степной зоне Республики Алтай / Е. А. Сальникова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - 2021. - № 6(200). - С. 13-17.

328. Сапожников, Д.И. Механизм фотосинтеза //Советская ботаника. - 1940. - №. 5-6. - С. 93-112.

329. Сапрыкин, В.И. Суданская трава в Сибири / Сапрыкин В.И. // Корма. 1974. - №2. - С. 23-25.

330. Сафонов, А. Ф., Стратонович М. В. Практикум по земледелию с почвоведением. - М.: Агропромиздат, 1990.- 193 с.

331. Сверлова, Л.И. Сельскохозяйственная оценка продуктивности климата Восточной Сибири, Дальнего Востока и трассы БАМ для ранних яровых культур. - Л.: Гидрометеиздат, 1980. - 182 с.

332. Селянинов, Г.Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата, в кн.: Мировой агроклиматический справочник, Л. - М., 1937. - 428 с.

333. Семенова, Т.Н. Агроклиматические условия произрастания луговых трав Якутии / Т. Н. Семенова. - Якутск, 1992. - 86, 88 с.

334. Сидоренко, О.Д. Микробиология [О. Д. Сидоренко и др.]. - Москва : ИНФРА-М, 2010. - 285 с.

335. Сидоров, Ю. Н. Содержание протеина в суданской траве в зависимости от срока посева и времени уборки на корм / Ю. Н. Сидоров, Н. Н. Докина, В. Л. Королев, Ф. Г. Каюмов // Вестник мясного скотоводства. - 2014. - №2 (85). - С. 125-127.

336. Сильванчук, Е. Л. Возделывание кукурузы на зерно в новых технологиях растениеводства / Е. Л. Сильванчук, А. Н. Крюков, Л. А. Наумкина, А. М. Хлопяников // Вестник КГСХА. - 2018. - № 3. - С. 56-61.

337. Синягин, И. И. Площадь питания растений / И. И. Синягин - М.: Россельхозиздат, 1966. - 229 с.

338. Система ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия) на период 2016-2020 гг: методическое пособие / Якутский НИИСХ. - Якутск, 2017. - 412 с

339. Система ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия) на период 2021-2025 годы : методические пособия / Министерство сельского хозяйства Республики Саха (Якутия), ЯНЦ СО РАН Якутский НИИСХ им. М. Г. Сафронова. - Белгород : Сангалова К. Ю., 2021. - 592 с. - ISBN 978-5-6046091-8-7.

340. 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.

341. Скороходов В. Ю. Изменение плодородия почвы и продуктивность монокультур при длительном применении удобрений // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. - 2022. - №. 1 (65). - С. 153-161.

342. Смирнов, П.З. Суданская трава. / П.З. Смирнов. - Саратов. Саратовское ОГИ, 1951. - 39 с.

343. Соколов, Н.А. Проблемы производства сельскими поселениями органических продуктов и пути их решения // Н.А. Соколов, Н.М. Белоус, В.Е. Ториков, М.А. Бабьяк // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. - 2020. - № 1 (77). - С. 65-77.

344. Соколов, О.А., Черников В.А., Шмырева Н.Я. Эколого-физиологическая оценка минерального питания растений // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. - 2016. - №. 3. - С. 5-17.

345. Соловьев, Б.Ф. Суданская трава высокопродуктивная кормовая культура / Б.Ф. Соловьев. - М.: Колос, 1975. - 112 с.

346. Солодовников, А.П. Отзывчивость гибридов подсолнечника на минимизацию основной обработки почвы в Заволжье / А.П. Солодовников, В.И. Жужукин, А.Г. Субботин, И.С. Полетаев, Н.В. Степанова // Аграрный научный журнал, 2020, №1. - С.22-27.

347. Соломахин, П.В. Технологические особенности и использование просовидных культур [Текст]/П.В.Соломахин// Зерновое хозяйство. - 1987. - №10. - С.44-47.

348. Сотченко, В.С. «Кукуруза. Современная технология возделывания». // М.: Изд-во ООО НПО «РосАгроХим, 2012 - 152 с.

349. Сотченко, В.С. Перспективы возделывания кукурузы для производства высокоэнергетических кормов / В. С. Сотченко // Кукуруза и сорго. 2008. - № 4. - С. 2-5.

350. Стасик, О.О., Киризий Д.А., Прядкина Г.А. Фотосинтез и продуктивность сельскохозяйственных растений // Физиология растений и генетика. -2016. -№.48, №3. -С. 232-251.

351. Степанов, А. И. Агроэкологические основы производства и применения органических удобрений на мерзлотных почвах Якутии : автореферат дис. ... доктора сельскохозяйственных наук : 06.01.04 / Степанов Айаал Иванович; [Место защиты: Всерос. науч.-исслед. ин-т агрохимии им. Д.Н. Прянишникова]. - Москва, 2016. - 50 с.

352. Ступин, А.С. Эколого-физиологические особенности стресса растений //Теория и практика современной аграрной науки. - 2020. - С. 292-296.

353. Субботин, А.Г. Прогрессивные технологии посева сельскохозяйственных культур. учебное пособие. Саратов: Типография ЦВП, «Саратовский источник», 2013. - 240 с.

354. Суворов, Н.А. Зависимость урожая суданской травы от норм высева в южной лесостепи Омской области / Суворов Н.А. // Возделывание однолетних и многолетних кормовых культур в западной Сибири. Омск, 1986. - С. 15-17.

355. Сукиасян, А.Р. и др. Влияние абиотического стресса на рост растений //Успехи современного естествознания. - 2016. - №. 7. - С. 168-172.

356. Сухов, В.А. Полив - основной агроприем, повышающий урожай кормовых культур в Центральной Якутии // Сельскохозяйственная наука к 50-летию Якутской АССР. - Якутск, 1972

357. Сысо, А.И. Элементный химический состав почв и растений Северной Якутии, его эколого-биохимическая оценка / А.И. Сысо, Р.В. Десяткин, М.Х. Николаева, А.З. Иванова, Н.В. Филиппов, А.Р. Десяткин, С.А. Худяев // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. - 2023. - Т. 28. - № 1 - С. 78-93.

358. Сычев, В.Г. Методика фотометрической диагностики азотного питания зерновых и других культур /В.Г. Сычев, Р.Ф. Байбеков, П.М. Пугачев [идр.].- Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2010. -32с.

359. Тарчевский, И.А. К вопросу о природе продуктов кратковременного фотосинтеза / И.А. Тарчевский, Ю.С. Карпилов // Физиология растений. -1963, т.10, вып.2. -С.229-231.

360. Тимирязев К.А. Земледелие и физиология растений. - М.:Сельхозгиз,1957.-326 с.

361. Тимирязев, К.А. Физиология растений как основа рационального земледелия //Избр. соч. М.: ОГИЗ-Сельхозгиз. -1948. -Т.2. -С.41-86.

362. Тимирязев, К.А., Ч. Дарвин и его учение. -М.: Сельхозиздат, 1937. - 328 с.

363. Тишевская, Н.В., Бабаева А.Г., Геворкян Н.М. Роль лимфоцитарных РНК в межклеточном информационном обмене и регуляции регенеративных процессов //Российский физиологический журнал им. ИМ Сеченова. - 2016. - Т. 102. - №. 11. - С. 1280-1301.

364. Торилов, В.Е. Кукуруза и сорго в интенсивном земледелии юго-запада центрального региона России: монография // В.Е. Торилов и др. - Брянск: Изд-во Брянского ГАУ, 2018. - 208 с.

365. Торилов, В.Е. Научные основы агрономии: учеб. пособие / В.Е. Торилов, О.В. Мельникова. - Санкт-Петербург: Лань, 2017. - 348 с.

366. Торилов, В.Е. Ценность кукурузы, сорговых культур и их урожайность в зависимости от приемов выращивания / В.Е. Торилов, А.В. Дронов, В.В. Торилов, А.А. Осипов, В.В. Ланцев // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. - 2019. - № 5 (75). - С. 15-22.

367. Торилов, В.Е. Эффективность возделывания гибридов кукурузы на юго-западе Центрального региона России / В.Е. Торилов, О.В. Мельникова, В.В. Ланцев // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. - № 1. - С. 18-23.

368. Травин, Г. Н. Научные основы разработки высокоэффективных агротехнологий возделывания нового сорта редьки масличной в условиях лесостепи ЦФО РФ / Г. Н. Травин, В. П. Савенков, Е. Ю. Кузьмина // Вызовы

времени и ведущие мировые научные центры : Челябинск: Общество с ограниченной ответственностью "ОМЕГА САЙНС", 2019. - С. 57-61.

369. Третьяков, Н.Н. Основы агрономии / Н.Н. Третьяков, Б.А. Ягодин, А.М. Туликов и др. - М.: ПрофОбрИздат, 2002. - 360 с.

370. Троц, В. Б. Фотосинтез и продуктивность одновидовых и бинарных посевов силосных культур // Известия ТСХА. 2010. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fotosintez-i-produktivnost-odnovidovyh-i-binarnyh-posevov-silosnyh-kultur>

371. Троц, В.Б. Редька масличная - растение разностороннего использования/В.Б. Троц. - Усть-Кинельский, 2013. - С. 2

372. Турусов, В.И. Технология возделывания проса в Воронежской области / А.М. Новичихин, А.Ю. Сурков, И.В. Суркова // Каменная Степь, 2019. - 26 с.

373. Тютюнов, С.И., Соловиченко В.Д. Биологизация земледелия как фактор роста плодородия почв, продуктивности культур и сохранения окружающей среды: коллективная монография // Тютюнов С.И., Соловиченко В.Д. / под ред.: В.В. Окоркова. - Иваново, 2019. - С. 13-17.

374. Удовенко, Г.В. Устойчивость растений к абиотическим стрессам // Физиологические основы селекции. Теоретические основы селекции, т. II, ч. I. -С.-Пб.: ВИР, 1995. -С.293-352.

375. Уланов, А. К. Риск снижения и возможный рост урожая культур зернопаровых севооборотов сухой степи / А. К. Уланов // Том Часть 1. - г. Пермь: ИПЦ Прокрость, 2019. - С. 119-124.

376. Уогинтас В. И. Урожайность зеленой массы и зерна проса в зависимости от приемов технологии возделывания //Земледелие и селекция в Беларуси. - 2022. - №. 50. - С. 207-214.

377. Урунбаева, Г. Влияние самых приемлемых сроков и норм на рост и развитие повторных посевов кукурузы / Г. Урунбаева, К. Ашуров //Вопросы науки и образования. - 2019. № 32 (82) - С. 10-13.

378. Усов, В.Ю. Влияние азотных удобрений на кормовую продуктивность посевов редьки масличной / В. Ю. Усов, М. В. Усова // Научные инновации -

аграрному производству : МНПК посвященной 100-летию Омского ГАУ, Омск, 21 февраля 2018 года. - Омск: 2018. - С. 471-473.

379. Филин В. И., Балакшина В. И. Эффективность удобрений в сухостепной зоне каштановых почв Волгоградской области //Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. - 2019. - №. 1 (53). - С. 72-80.

380. Филипцова, Г. Г. Фотосинтез : курс лекций / Г. Г. Филипцова. - Минск : Белорусский государственный университет, 2017. - 68 с.

381. Фирсов, И.П. Технология растениеводства / И. П. Фирсов, А. М. Соловьев, М. Ф. Трифонова. М.: Колос, 2005. 472 с.

382. Хамокова, И. М. Просо: состояние изученности некоторых элементов технологии / И. М. Хамокова // Зернобобовые и крупяные культуры. - 2022. - № 3(43). - С. 57-65. - DOI 10.24412/2309-348X-2022-3-57-65.

383. Хараху, А.З., Шаова Ж.А. Изучение влияния факторов внешней среды на соотношение гормонов стимулирующие рост и развитие растений //Актуальные проблемы и перспективы развития сельского хозяйства Юга Р. - 2019. - С. 390-395.

384. Харчевников, В.В. Основные элементы технологии возделывания редьки масличной на семена в условиях лесостепи Новосибирского Приобья/В.В. Харчевников// Сб. тр. «Инновационные тенденции развития Российской науки». - Красноярск, 2016. - С. 92-96.

385. Хохлова, Е.С. Растения и стресс //Фундамент. основы науки. 2021. - С. 77-80.

386. Цвелев, Н.Н. Злаки СССР. - Л.: Наука, 1976. - 788 с.

387. Чебакова, Н.М. и др. Энерго- и массообмен и продуктивность основных экосистем Сибири (по результатам измерений методом турбулентных пульсаций). 2. Углеродный обмен и продуктивность //Известия Российской академии наук. Серия биологическая. - 2014. - №. 1. - С. 65-65.

388. Чевычелов А.П., Захарова О.Г., Бурнашева М.П. Фосфатное состояние мерзлотных почв Центральной Якутии. Природные ресурсы Арктики и

Субарктики. 2023;28(1):104-116. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-1-104-116>

389. Чернышева, Р.И. Зависимость интенсивности фотосинтеза от факторов внешней среды /Р.И. Чернышева //Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства: материалы III Международной научно-практической конференции, Макеевка, 09 апреля 2020 года. Том II. -, 2020. -С. 78-81.

390. Чиков, В.И. Особенности фотосинтеза листьев кукурузы (С-4 растения) при изменении уровня освещенности и нитратного питания /В.И. Чиков, Ф.А. Абдрахимов, С.Н. Баташева, Л.А. Хамидуллина //Физиология растений. -2016. - Т.63, №5. -С.661-667. -DOI10.7868/S0015330316050031. -EDNWHXNAF.

391. Чиков, В.И., Ахтямова Г.А. Селекция, генетика и эволюция растений: Связь с метаболизмом //Селекция, семеноводство и генетика. -2018. -№.4. -С. 13-19.

392. Шашко, Д. И. Агроклиматические ресурсы СССР / Д. И. Шашко. - Ленинград : Гид-рометеиздат, 1985. - 247 с.

393. Шашко, Д. И. Климат Якутии / Д. И. Шашко. - Якутск, 1961. - 168 с.

394. Шаламова, Е. Л. Изучение технологии возделывания редьки масличной в условиях среднегорной зоны Алтая / Е. Л. Шаламова, В. Думов // Аграрная наука - сельскому хозяйству. - Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2018. - С. 451-452.

395. Шаламова, Е.Л. Оценка некоторых элементов технологии возделывания редьки масличной в условиях среднегорной зоны Алтая/Е.Л. Шаламова, В. Думов// Горно-Алтайск, 2017. - С. 91-93.

396. Шатилов, И.С. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая / И.С. Шатилов, А.Ф. Чудновский. - Гидрометеиздат, 1980. - 320 с.

397. Шатилов, И.С. Максимальное аккумулирование солнечной энергии культурными растениями - важнейшая задача современного земледелия // Пути

интенсификации орошаемого земледелия в хлопкосеющих р-пах Сред. Азии. - Душанбе, 1982. - С. 28-40. - Соавт. М. К. Каюмов.

398. Шатилов, И.С. Суданская трава / И.С. Шатилов, А.П. Мовсисянц, И.А. Драненко и др. М.: Колос, 1981а.- 205 с.

399. Шатилов И.С. Фотосинтетический потенциал, интенсивность фотосинтеза и роль отдельных органов растений в формировании урожая озимой пшеницы на различных агрофонах / И.С. Шатилов, А.Ф. Шаров //С.-х. биология. - 1978, т. XII, № 11. - С. 36-40.

400. Шатилов, И.С. Энергомассообмен в звене полевого севооборота / А. Г. Замаев, В. И. Савич, В. Г. Сычев [и др.] ; Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова; Под общей редакцией академика РАСХН И.С. Шатилова. Том Часть 2. - Москва : 2005. - 336 с. - ISBN 5-9238-0053-5.

401. Шатилов, И.С. Энергомассообмен в звене полевого севооборота. Часть 1: Оптимальные параметры системы почва-растение на дерново-подзолистых почвах с целью получения высоких устойчивых урожаев полевых культур/ И.С. Шатилов, А.Г. Замаев, Ю.А. Духанин, Г.В. Чаповская, В.И. Савич, А.А. Замаев, А.Ф. Шаров, Н.А. Исмаилова; Под общ. ред. И.С. Шатилова. - М.: Агро, 2004, 368 с.

402. Шатилов, И.С., Замаев А.Г. О разработке в Тимирязевской академии теории получения запрограммированных урожаев полевых культур на обычных и мелиорируемых дерново-подзолистых почвах : / [Сост. акад. ВАСХНИЛ И.С. Шатилов, А.Г. Замаев]. - М. : Б. и., 1981б. - 7 с.

403. Шатилов, И.С., Замаев А.Г., Чаповская Г.В. Фотосинтетическая деятельность зерновых в интенсивном севообороте-центрального Нечерноземья //Фотосинтез и продукционный процесс. - М.: Наука, 1988. - С. 176-186.

404. Шатилов, И.С., Программирование урожаев сельскохозяйственных культур [Текст] : Науч. труды ВАСХНИЛ под ред. акад. И. С. Шатилова, канд. с.-х. наук М. К. Каюмова. - Москва : Колос, 1975. - 429, 19 с. : ил.; 20 см.

405. Шевелуха, В.С. Рост растений и его регуляция в онтогенезе. -М., 1992. - 594 с.

406. Шевелуха, В.С. Связь суточной периодичности линейного роста с фотосинтезом, дыханием и ходом накопления урожая у озимой пшеницы в онтогенезе / В.С. Шевелуха, В.М. Ковалев //Периодичность и ритмичность роста сельскохозяйственных растений. Т.107. -Горки: БСХА, 1973. -С. 25-34.

407. Шевцова, Л.П. Агробιοлогические особенности и продуктивность традиционных и редких видов масличных культур в засушливом Поволжье/ Л.П. Шевцова, Н.А. Шьюрова, А.В. Каленюк // Нива, 2008. - №4 (9). - С. 36-39.

408. Шестакова, В.А. Продуктивность подсолнечника на пойменных землях Центральной Якутии // Пути интенсификации кормοпроизводства в условиях Центральной Якутии. - Якутск, 1981. - С. 9-11.

409. Шиндин, А.П. Кукуруза. Современная технология возделывания / А.П. Шиндин [и др.] ; Под общ. ред. академика РАСХН В.С. Сотченко. - 2-ое изд. доп. - М.: Изд-во ООО НПО «РосАгроХим, 2012. - 152 с.

410. Шишова, Е.А. Источники ценных признаков суданской травы и использование их в селекционном процессе / Е.А. Шишова, Н.А. Ковтунова, А.Е. Романюкин, Г.М. Ермолина, С.И. Горпиниченко // Наука Кубани. - 2018. - №2. - С.70-75.

411. Шпаар, Д. Зерновые культуры (выращивание, уборка, доработка и использование) : учебно-практическое руководство / Х. Гинапп, Д. Дрегер, А. Захаренко [и др.]. - 3-е издание, доработанное и дополненное. - Москва : DLV Агродело, 2008. - 656 с. - ISBN 978-5-903209-06-4

412. Шпаар, Д. Кукуруза / Д.Шпаар, К.Гинапп и др. // М. - 2010. - 389 с.

413. Шпаар, Д. Кукуруза: Выращивание, уборка, консервирование и использование / Д. Шпаар. - М.: Книга по Требованию, 2014. - 464 с.

414. Шпаар, Д. Яровые масличные культуры / Д. Шпаар, Л. Адам, Х. Гинапп // Минск: Фуаинформ, 1999. - 286 с.

415. Шпаков, А.С. Полевое кормοпроизводство: история, проблемы и решения: монография / А. С. Шпаков, Ю. К. Новоселов, В. Т. Воловик, Л. А.

Трузина, Т. В. Прологова, Н. А. Ларетин, Л. М. Коровина, С. Е. Сергеева / Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса. - Москва : ФГБОУ ДПО РАКО АПК, 2023. - 259 с.

416. Шпилев, Н.С. Инновации в селекционный процесс создания гибридов кукурузы // Н.С. Шпилев, В.Е. Ториков, О.В. Мельникова, И.В. Сычева, Л.В. Лебедько, А.А. Осипов // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. - 2020. - № 5 (81). - С. 15-19.

417. Шукис, Е.Р. Создание сортов проса посевного для Алтайского края / Е.Р. Шукис, А.П. Чебатарева, С.В. Жаркова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета № 10 (216), 2022. - С. 5-12.

418. Шуравилин, А.В. Ресурсосберегающие технологии в земледелии: учебное пособие. - М.: РУДН, 2010. -198 с.

419. Шукис, Е.Р. Кормовые культуры на Алтае / Е.Р. Шукис. Барнаул: Алтайский НИИСХ Россельхозакадемии, 2013. - 181 с.

420. Эдварс, Дж., Уокер Д. Фотосинтез С3- и С4, -растений: механизмы и регуляция. -М.: Мир, 1986, -598 с.

421. Эдельгериев, Р. С. Х. Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия / Р. С. Х. Эдельгериев, А. Л. Иванов, И. М. Донник [и др.]. - Москва : Издательство МБА, 2021. - 700 с. - ISBN 978-5-6045103-9-1. - DOI 10.52479/978-5-6045103-9-1.

422. Ягодин, И.Г. Культура подсолнечник / И.Г. Ягодин. - Ростов н/Д. - 1934. - 125 с.

423. Якименко, В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири : [Монография] / В. Н. Якименко ; - Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2003. - 226 с.

424. Якушкин, И.В. Растениеводство [Текст] : Растения полевой культуры / Акад. И.В. Якушкин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Сельхозгиз, 1953. - 716 с.

425. Якушкина, Н.И. Физиология растений. -М.: Просвещение, 1993. -352 с.

426. Янбухтина, Р.Н. Биологическая активность почв при различных системах обработки / Р.Н. Янбухтина // Земледелие. - 1989. -№ 10. - С. 47-49.

427. Abd El-Lattief, E. A. Growth and fodder yield of forage pearl millet in newly cultivated land as affected by date of planting and integrated use mineral and organic fertilizer // Asian Journal of Crop Science, 2011. Volume 3. Issue 1. P. 35-42.

428. Ainsworth E. A., Long S. P. 30 years of free-air carbon dioxide enrichment (FACE): What have we learned about future crop productivity and its potential for adaptation? //Global change biology. - 2021. - T. 27. - №. 1. - C. 27-49.

429. Aldesuquy H. S., Ibraheem F. I., Gahnem H. E. Comparative morpho-biochemical responses of wheat cultivars sensitive and tolerant to water stress //Journal of Stress Physiology & Biochemistry. - 2014. - T. 10. - №. 2. - C. 168-189.

430. Allen, L.H., Boote K.J., Jones J.W. et al. Response of vegetation to rising carbon dioxide: Photosynthesis, biomass, and seed yield of soybean //Glob. Biogeochem. Cycles. -1987, vol. 1, N.1. -P. 1-14.

431. Amaducci, S., Colauzzi M. Effect of irrigation and nitrogen fertilization on the production of biogas from maize and sorghum in a water limited environment // European Journal of Agronomy, 2016. Volume 76. May 01. P. 54-65.

432. Andor János, F.G.H. Lupton Heterosis in plant breeding : proceedings of the Seventh Congress of EUCARPIA (The European Association for Research in Plant Breeding, L'Association européenne pour l'amélioration des plantes, Die Europäische Gesellschaft für Züchtungsforschung), Budapest, 24-29 June 1974

433. Austin, R.B. Crop characteristics and the potential yield of wheat //J. Agric. Sci. - 1982, vol. 98, N. 2. - P. 447-453.

434. Bartoli, C.G. Interactions between hormone and redox signaling pathway in the control of growth and cross to tolerance to stress /C.G. Bartoli, M. Simontacchi, C.A. Casalongué [et al.] //Environmental and Experimental Botany. -2013. -Vol. 94. -P. 73-88. -DOI10.1016 /j.envexpbot. 2012.05.003

435. Bennett, J. Chloroplast protein phosphorylation and the regulation of photosynthesis //Physiol. plant. -1984, Vol.60. -P. 583-690.

436. Bhatla, S.C. et al. Plant mineral nutrition //Plant physiology, development and metabolism. -2018. -C. 37-81.

437. Bierbaumer S. et al. Enzymatic conversion of CO₂: from natural to artificial utilization //Chemical Reviews. - 2023. - T. 123. - №. 9. - C. 5702-5754.
438. Bodde, T. Genetic engineering in agriculture - another green revolution? //Bio Sci. - 1982, vol. 32, N. 7. - P. 572-575.
439. Bräutigam, A., Schliesky S., Külahoglu C., Osborne C.P., Weber A.P. Towards an integrative model of C₄ photosynthetic subtypes: insights from comparative transcriptome analysis of NAD-ME, NADP-ME, and PEP-CKC₄ species //JExp Bot. - 2014. -Vol.65. -P. 3579-3593.
440. Brouwer, W., Gotz, A., Heyland, K.-U. Über die Bedeutung spatter Nährstoffgeben für die Ertragsbildung des Hafers. Zeitschrift für Acker - und Pflanzerbau. Band 113, Heft 2, Berlin, 1961.
441. Calvin M., Benson A.A. The path of carboninphotosynthesis. Science 1948; 107:476-80 (123).
442. Canarache, A. Einfluss der Bodenverdichtung auf die Productivitat der Ackerboden Rumaniens / Canarache A., Cioroianu F., Colibas I. // Tag.- Ber./Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin, 1984. - T. 227. - S. 40-48.
443. Canned, R. Cultiuation and soil plant relationships // soil water (sto neleigh). - 1979. - U. 7, № 2. - P. 2-8.
444. Crofts-Brandner Steven J., Poneleit Charles G. Effecte arremovalon CO₂ exchange and activities of ribulosebisphosphatecarboxylase of maize hybride and inberdlines //Plant Physiol. -1987, vol. 84, N.2. -P. 261-265.
445. Das S. et al. A Novel Agronomical Technology for Polar Region's Cultivation During Winter Dark //2021 5th International Conference on Electronics, Materials Engineering & Nano-Technology (IEMENTech). - IEEE, 2021. - C. 1-6.
446. Debruch, J. Forderungen des Pflahzenbauers an die Bodenbearbeituns in Ackerbaufruchtfolgen // Ber. Landwirtsch. - 1978. - Bd. 56, 213. - S. 342-358.
447. Dill, S. Tillage: more interest in Jess // Furrow. - 1979. - V.84, №8. - P. 2-5.
448. Ding N. et al. Effect of lighting environment on the CO₂ concentration reduction efficiency of plants by a model experiment //Buildings. - 2022. - T. 12. - №. 11. - C. 1848.

449. Eckardt N. A. et al. Climate change challenges, plant science solutions // *The Plant Cell*. - 2023. - T. 35. - №. 1. - C. 24-66.

450. Elers, B Winterbegrünung auf abgeernteten Gemüseflächen/ B. Elers, A. V. Brandis, H. C. Scharpt, H. D. Hartmann // *Gemüse*. - 1987. - V. 23. - № 6. - P. 290-292.

451. Fahrurrozi, F. et al. Comparative Effects of Soil and Foliar Applications of Tithonia Enriched Liquid Organic Fertilizer on Yields of Sweet Corn in Closed Agriculture Production System // *AGRIVITA, Journal of Agricultural Science*. 2019. V. 41. №2. <http://doi.org/10.17503/agrivita.v41i2.1256>

452. Falkowski, Paul G., Lin Hanzhi and Gorbunov Maxim Y. 2017 What limits photosynthetic energy conversion efficiency in nature? Lessons from the oceans *Phil. Trans. R. Soc. B* 372 2016 037620160376 <http://doi.org/10.1098/rstb.2016.0376>

453. Feekes, Willem (1941). "De tarwe en haar milieu [Wheat and its environment]" *Verslagen van de Technische Tarwe Commissie*. (in Dutch and English). 17: 523-888.

454. Fischer, W. W., Hemp J., Johnson J. E. Evolution of oxygenic photosynthesis // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. - 2016. - T. 44. - C. 647-683.

455. Florkowski W.J., Hill L. D. Mögliche ökonomische Auswirkungen der kommerziellen Anwendung von Biotechnologien in der Landwirtschaft und deren Zeitliche Dimension // *Agrarwirtschaft*. - 1987, 3d. 36, N. 10. - P. 309-317.

456. Foyer, C. H. Reactive oxygen species, oxidative signaling and the regulation of photosynthesis / C. H. Foyer // *Environmental and Experimental Botany*. - 2018. - Vol. 154. - P. 134-142. - DOI 10.1016/j.envexpbot.2018.05.003. - EDN YIUMKL.

457. Foyer, Christine H., Ruban Alexander V. and Nixon Peter J. 2017 Photosynthesis solutions to enhance productivity *Phil. Trans. R. Soc. B* 372: 2016037420160374 <http://doi.org/10.1098/rstb.2016.0374>

458. Gaju O. et al. Accounting for the impact of genotype and environment on variation in leaf respiration of wheat in Mexico and Australia // *Journal of Experimental Botany*. - 2024. - C. erae 449.

459. Galeev, R. R. Efficiency of agrotechnical methods of cultivation of soybean for grain in different ecological zones of Western Siberia / R. R. Galeev, D. D. Petrov, A.

E. Smirnov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18-20 ноября 2021 года. - Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2022. - P. 022045. - DOI 10.1088/1755-1315/981/2/022045.

460. Gupta, Surinder Kumar Biology and Breeding of Crucifers.- CRC Press. Boca Raton (Florida):Taylor & Francis Group, 2009. - 395 c.

461. Haoran Zhou, Erol Akçay, Brent Helliker, Optimal coordination and reorganization of photosynthetic properties in C4 grasses, Plant, Cell & EnvironmentPlant, Cell & EnvironmentPlant, Cell & Environment, 10.1111/pce.14506, 46, 3, (796-811), (2023).

462. Hatch M.D., Slack C.R. Photosynthesis by sugarcane leaves // A new carboxylation reaction and the pathway of sugar formation // Biochem. J. - 1966, N. 1. - P. 103.

463. Hill, R. (1937). "Oxygen Evolved by Isolated Chloroplasts". *Nature*. 139 (3525): 881-882. Bibcode:1937Natur.139..881H. doi:10.1038/139881a0. S2CID 4095025.

464. Holk, J. S. Significance and distribution of herbicide resistance / J. S. Holk, H. M. Le Baron // Weed Technol. - 1990. - № 4. - P.1-42.

465. Jürgen Knauer, Matthias Cuntz, Benjamin Smith, Josep G. Canadell, Belinda E. Medlyn, Alison C. Bennett, Silvia Caldararu, Vanessa Haverd, Higher global gross primary productivity under future climate with more advanced representations of photosynthesis, Science Advances, 10.1126/sciadv.adh9444, 9, 46, (2023)

466. Khaliq, T., Mahmood T., Masood A. Effectiveness of farmyard manure, poultry manure and nitrogen for corn (*Zea mays* L.) productivity // Int. J. Agric. Biol. 2004. V. 2. P. 260-263.

467. Kihara, S., Hartzler D. A., Savikhin S. Oxygen concentration inside a functioning photosynthetic cell //Biophysical journal. - 2014. - T. 106. - №. 9. - C. 1882-1889.

468. Kira, M. Velej, Jeffrey C. Berry, Sarah J. Fentress, Daniel P. Schachtman, Ivan Baxter, Rebecca Bart. High-throughput profiling and analysis of plant responses over time to abiotic stress. *Plant Direct* 2017, 1 (4) <https://doi.org/10.1002/pld3.23>

469. Kortschak H.P. Carbon dioxide fixation in sugarcane leaves / H.P. Kortschak, C. E. Hartt, G.O. Burr //Plant Physiol. - 1965, Vol. 40, N. 2. - P. 209.
470. Krause, G. H. The role of oxygen in photoinhibition of photosynthesis //Causes of photooxidative stress and amelioration of defense systems in plants. - CRC press, 2019. - C. 43-76.
471. Kutschera U., Ehnes I. World Climate Declaration: Exhaled carbon dioxide promotes plant development //European Journal of Environment and Earth Sciences. - 2023. - T. 4. - №. 5. - C. 1-4.
472. Lambers H. et al. Mineral nutrition //Plant physiological ecology. - 2019. C. 301-384.
473. Lawlor D. W. Photosynthesis, productivity and environment //Journal of experimental botany. - 1995. - T. 46. - №. special_issue. - C. 1449-1461.
474. Lawson T. et al. Carbon fixation //Photosynthesis in action. - Academic Press, 2022. - C. 31-58.
475. Lichtenthaler, H. K. et al. Chlorophyll fluorescence kinetics, photosynthetic activity, and pigment composition of blue-shade and half-shade leaves as compared to sun and shade leaves of different trees //Photosynthesis research. - 2013. - T. 117. C. 355-366.
476. López-Bellido, L., Wery Ja., López-Bellido R. J. Energy crops: Prospects in the context of sustainable agriculture. European Journal of Agronomy. 2014; 60:1-12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.07.001>
477. Marchezan, C. et al. Nitrogen Availability and Physiological Response of Corn After 12 Years with Organic and Mineral Fertilization // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2020. P. 1-11. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00185-2>
478. Mardvayev, N. Sudan grass in Buryatia — the most extreme zone of its cultivation in Russia / N. Mardvayev, S. Shapsovich // Norwegian Journal of development of the International Science. - 2019. - No. 26. - P.10-14.
479. May, R. L. Classification of intra-specific variation in plant functional strategies reveals adaptation to climate / R. L. May, A. Wingler, S. Warner // Annals of Botany. - 2017. - Vol. 119, No. 8. - P. 1343-1352. - DOI 10.1093/aob/mcx031.

480. Mazirov, M. A. Experimental bases of crop productivity depending on agrotechnical conditions / M. A. Mazirov, A. O. Ragimov, I. M. Shchukin [et al.] // Bio web of conferences : International Scientific and Practical Conference “AGRARIAN SCIENCE - 2023” (AgriScience2023), Moscow, 25-26 апреля 2023 года. - EDP Sciences: EDP Sciences, 2023. - P. 04002. - DOI 10.1051/bioconf/20236604002.

481. Meng, X. et al. Effects of phosphorus deficiency on the absorption of mineral nutrients, photosynthetic system performance and antioxidant metabolism in *Citrus grandis* // PLoS One. - 2021. - T. 16. - №. 2. - C. e0246944.

482. Mooney, H.A. and Ehleringer, J. (1978) The carbon gain benefits of solar tracking in a desert annual. *Plant, Cell, Environment*, 1, 307 - 11.

483. Nelson, L. A. Producing proso in Western Nebraska / Universiti of NebraskaLincoln College of Agriculture. - Nebr., 1972, p. 2-5.

484. Nenko, N. I. Prospects for sunflower cultivation in the Krasnodar region with the use of plant growth regulator // *Helia*, 2016. Volume 39. Issue 65. December. P. 197-211.

485. Net, M. Grain and forage. 2 nd ed. - Sydney, 1975, p. 8-9.

486. Nikitin, S. (2017). Photosynthetic activity of plants in crops and dynamics of growth processes when using biological preparations. *Uspehi Sovremennov Estestvoznaniya*, 1, 33-38 (Ru).

487. Osipova, V.V. Study and evaluation of varieties of non-traditional forage crops in the conditions of the cryolithozone / V.V., L.Ya. Konoshchuk, A.P. Chebotarev and S.V. Zharkova // BIO Web of Conferences 108, 02009 (2024) - 2 p.

488. Pei, S. Changes in soil properties and vegetation following exclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China / Pei S., Fu H., Wan C. // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. - 2008. - Vol. 124. - P.33-39.

489. Pinto, H., Sharwood R.E., Tissue D.T., Ghannoum O. Photosynthesis of C3, C3-C4, and C4-grasses at glacial CO2 // *J Exp Bot*. -2014. -Vol. 65. -P. 3669-3681.

490. Poór, P. et al. Effects of salicylic acid on photosynthetic activity and chloroplast morphology under light and prolonged darkness // *Photosynthetica*. - 2019. T. 57. №. 2.

491. Poorter H. et al. A quantitative-analysis of dark respiration and carbon content as factors in the growth-response of plants to elevated CO₂ //Australian Journal of Botany. - 1992. - T. 40. - №. 5. - C. 501-513.

492. Raghavendra, Agepati S. and V. S. Rama Das. "Photosynthetic Carbon Metabolism in Leaves of C₄- and C₃-Plants: A Detailed Comparative Study." *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie* 87 (1978): 297-311.

493. Raiesi, F. The influence of grazing exclosure on soil C stocks and dynamics, and ecological indicators in upland arid and semi-arid rangelands / Raiesi F., Riahi M. // Ecological Indicators. - 2014. - Vol. 41. - P. 145-154.

494. Russelle, M. P. et al. Effects of water and nitrogen management on yield and ¹⁵N-depleted fertilizer use efficiency of irrigated corn // Soil Science Society of America Journal. 1981. V. 45. №3. P. 553-558. <https://doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500030024x>

495. Sage R.F., Kubien D.S. The temperature response of C₃ and C₄ photosynthesis//Plant Cell Environ. 2007. V. 30. P. 1086-1106.

496. Sarwar, M. et al. Role of mineral nutrition in alleviation of heat stress in cotton plants grown in glasshouse and field conditions //Scientific reports. - 2019. - T. 9. - №. 1. - C. 13022.

497. Schurr U., Walter A., Rascher U. Functional dynamics of plant growth and photosynthesis-from steady-state to dynamics-from homogeneity to heterogeneity //Plant, Cell & Environment. - 2006. - T. 29. - №. 3. - C. 340-352.

498. Sharma N. et al. 'Breathing Out'under heat stress—respiratory control of crop yield under high temperature //Agronomy. - 2022. - T. 12. - №. 4. - C. 806.

499. Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., & Pessarakli, M. (2012). Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions. *Journal of Botany*, 2012, 1-26. doi:10.1155/2012/217037.

500. Silveira, J. A. G. Salinity-induced effect on nitrogen assimilation related to growth in cowpea plants/ J. A. G. Silveira, A. R. B. Melo, R. A. Viegas, J. T. A. Oliveira// Environment. Exp. Botany, 2001. - Vol. 46. - No. 1. - P. 171-179.

501. Smierzchalski, L. Aktualne kierunki zmian w uprawie roll // Uprawa roll podstawa intensyfikacji produkcji roslin. - Warszawa, 1980. - S. 131-147.

502. Stefanov, MA, Rashkov GD, Apostolova EL. Assessment of the Photosynthetic Apparatus Functions by Chlorophyll Fluorescence and P_{700} Absorbance in C3 and C4 Plants under Physiological Conditions and under Salt Stress. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022; 23(7):3768. <https://doi.org/10.3390/ijms23073768>

503. Stephen, P. Long, Amy Marshall-Colon, Xin-Guang Zhu. Meeting the Global Food Demand of the Future by Engineering Crop Photosynthesis and Yield Potential. *Cell* 2015, 161 (1) , 56-66. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.03.019>

504. Stephen, P. Long, Samuel H. Taylor, Steven J. Burgess, Elizabete Carmo-Silva, Tracy Lawson, Amanda P. De Souza, Lauriebeth Leonelli, Yu Wang Into the Shadows and Back into Sunlight: Photosynthesis in Fluctuating Light Annual Review of Plant Biology 2022 73:1, 617-648 p.

505. Steven Gutteridge, Tanai Cardona, Shengxi Shao, Peter J. Nixon; Enhancing photosynthesis in plants: the light reactions. *Essays Biochem* 13 April 2018; 62 (1): 85-94. doi: <https://doi.org/10.1042/EBC20170015>

506. Sun, R. et al. Effects of long-term application of chemical and organic fertilizers on the abundance of microbial communities involved in the nitrogen cycle // *Applied Soil Ecology*. 2015. V. 95. P. 171-178. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.06.010>

507. Tagarakis, A. C. Proximal sensing to estimate yield of brown midrib forage sorghum // *Agronomy Journal*, 2017. Volume 109. Issue 1. January-February. P. 107-114.

508. Uzun, F. S., Ugur, Sulak M. Yield, nutritional and chemical properties of some sorghum x sudangrass hybrids (*Sorghum bicolor* (L.) Moench x *Sorghum sudanense* Stapf.). *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2019. № 8. P.1602-1608.

509. Vimal Kumar, Ashutosh Sharma, Jeetendra Kumar Soni,, Nitin Pawar. Physiological response of C3, C4 and CAM plants in changeable climate. *Pharma Innovation* 2017;6(9):70-79.

510. Wang, Z., Jiang H., Shen Yu. Forage production and soil water balance in oat and common vetch sole crops and intercrops cultivated in the summer-autumn fallow season on the Chinese Loess Plateau. *European Journal of Agronomy*. 2020;115:126042. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126042>

511. Wendering P., Nikoloski Z. Toward mechanistic modeling and rational engineering of plant respiration // *Plant Physiology*. - 2023. - T. 191. - №. 4. - C. 2150-2166.

512. Willeg, R. W. Intercropping - its importance and research needs. J. Competition and yield advantages // *Field Crop Abstracts*. 1979. Vol.32. №1. - P. 2-10.

513. Willeg, R. W., Rao M. R. A systematic design to examine effects of plant populations and spatial arrangement in intercropping, illustrated by an experiment on chickpea safflower // *Exsper. Agr.* -1981.- Vol. 17. - № 1. - P. 63-73.

514. Wimalasekera, R. Effect of light intensity on photosynthesis // *Photosynthesis, productivity and environmental stress*. - 2019. - C. 65-73.

515. Wittwer S.H. Agriculture for the 21 st Century // *New Delhi*. - 1979. - 43 p.

516. Wolff, S.A. Plant mineral nutrition, gas exchange and photosynthesis in space: A review. *Advances in Space Research* / S.A. Wolff,. L.H. Coelho, M. Zabrodina, E. Brinckmann, A.-I. Kittang // Volume 51, Issue 3, 2013, P. 465-475, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2012.09.024>.

517. Yamada, N., Suge, H., Nakamura, H. Chemical control of plants growth and developement. I Germination of rice seed as affected by sprouting and gibberellin application. "Huxon cakumouy iakkam kugsu, *Proc. Crop Sci Soc. Japan*", 1963,31.

518. Zhang, Q., Bell L. W., Shen Yu., Whish J. P. M. Indices of forage nutritional yield and water use efficiency amongst spring-sown annual forage crops in north-west China. *European Journal of Agronomy*. 2018;93:1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.11.003>

ПРИЛОЖЕНИЯ

Метеорологические условия в период проведения исследований
в течение вегетационного периода (май-сентябрь) (2011-2021 гг.)

Годы	Показатели температур воздуха, °С (среднее по декадам)				
	май	июнь	июль	август	сентябрь
2011	8.0	15.1	21.4	16.4	4.0
2012	7.4	18.0	20.1	13.5	7.1
2013	9.1	16.5	17.4	14.9	5.9
2014	9.0	15.9	18.5	15.5	5.1
2015	6.5	14.6	19.5	16.7	5.6
2016	6.5	15.3	17.3	13.1	6.8
2017	5.9	17.0	18.6	16.5	6.7
2018	8.6	15.4	18.1	14.8	5.2
2019	8.2	17.3	17.1	14.7	6.2
2020	8.3	17.2	19.6	12.7	7.7
2021	8.1	17.0	19.5	18.4	7.6
ср. мног.	7.7	16.8	19.4	15.8	6.1

Примечание. по данным АГМС «Покровская» Хангаласский улус Республика Саха (Якутия)

Приложение 2

Метеорологические условия в период проведения исследований
в течение вегетационного периода (май-сентябрь) (2011-2021 гг.)

Годы	Показатели атмосферных осадков, мм (среднее по декадам)				
	май	июнь	июль	август	сентябрь
2011	25.0	22.0	63.0	85.0	23.0
2012	10.9	9.20	13.5	78.5	50.0
2013	56.5	81.3	110.3	18.6	31.4
2014	1.80	31.6	61.0	42.2	20.4
2015	28.2	25.7	14.2	35.5	35.9
2016	11.0	29.0	90.0	54.0	7.0
2017	19.3	18.8	83.1	36.2	72.6
2018	34.0	24.0	32.0	69.0	9.0
2019	18.0	28.0	29.0	49.0	48.0
2020	12.0	137.0	34.0	6.0	12.0
2021	10.3	10.3	31.2	30.5	30.4
ср. мног.	17.7	18.3	61.4	50.6	30.4

Примечание. по данным АГМС «Покровская» Хангаласский улус Республика Саха (Якутия)

Статистики урожая подсолнечника при внесении минеральных удобрений
на мерзлотной лугово-черноземной почве при орошении, ц/га (n = 11)

Вариант опыта		Год	$M \pm m$	lim	V, %
контроль, без удобрений	30 см	2013 - 2015	249.2 ± 32.1	220.0 - 297.2	19.2
		2016 - 2018	260.8 ± 24.3	210.3 - 290.3	18.9
		2019 - 2021	270.3 ± 20.4	197.6 - 283.4	17.4
		среднее	260.1 ± 25.6	209.2 - 290.3	17.0
	60 см	2013 - 2015	260.1 ± 29.6	228.3 - 305.1	18.1
		2016 - 2018	271.3 ± 27.2	219.3 - 302.3	17.0
		2019 - 2021	281.3 ± 20.3	212.7 - 296.4	16.2
		среднее	270.9 ± 25.6	220.1 - 301.3	16.3
NPK ₉₀	30 см	2013 - 2015	361.7 ± 29.5	339.5 - 413.5	10.4
		2016 - 2018	372.4 ± 26.5	314.8 - 406.3	13.5
		2019 - 2021	387.3 ± 23.2	311.1 - 402.3	12.6
		среднее	373.8 ± 26.4	321.7 - 407.3	12.2
	60 см	2013 - 2015	380.4 ± 28.2	346.2 - 429.4	12.1
		2016 - 2018	389.5 ± 25.6	342.6 - 421.6	11.7
		2019 - 2021	401.3 ± 22.1	332.1 - 412.9	10.5
		среднее	390.4 ± 25.3	340.3 - 421.3	11.2
NPK ₁₂₀	30 см	2013 - 2015	395.2 ± 25.3	391.1 - 420.3	11.0
		2016 - 2018	399.5 ± 22.9	386.6 - 412.2	10.2
		2019 - 2021	407.1 ± 20.2	384.3 - 411.3	9.5
		среднее	400.6 ± 22.8	387.6 - 414.6	9.9
	60 см	2013 - 2015	410.7 ± 28.3	380.2 - 461.3	10.0
		2016 - 2018	426.7 ± 25.5	372.2 - 448.2	9.8
		2019 - 2021	430.6 ± 24.2	359.7 - 442.3	9.4
		среднее	422.7 ± 26.0	370.7 - 450.6	10.7

Статистики урожая подсолнечника при разных сроках посева
на мерзлотной аллювиальной дерновой почве при орошении, ц/га

Вариант опыта		Показатели оценки, n = 11		
сроки посева	год	$M \pm m$	lim	V, %
первая декада июня	2013-2015	381.4 ± 24.3	352.2 - 416.9	12.1
	2016-2018	390.6 ± 21.0	340.3 - 413.3	11.7
	2019-2021	375.6 ± 17.7	331.7 - 401.6	10.5
	среднее	382.5 ± 21.0	341.4 - 410.6	9.5
вторая декада июня	2013-2015	379.6 ± 25.2	350.3 - 414.9	11.1
	2016-2018	390.5 ± 24.6	343.6 - 410.3	10.8
	2019-2021	386.2 ± 19.2	324.9 - 406.3	11.2
	среднее	385.4 ± 23.0	339.6 - 410.5	10.3
третья декада июня	2013-2015	199.8 ± 25.6	165.2 - 243.3	18.7
	2016-2018	215.4 ± 23.3	157.3 - 233.5	17.3
	2019-2021	198.6 ± 19.8	154.3 - 229.4	19.2
	среднее	204.6 ± 22.9	159.8 - 235.4	19.4

Статистики урожая подсолнечника при разных сроках посева
на мерзлотной дерново-луговой почве без орошения, ц/га

Вариант опыта		Показатели оценки, n = 11		
сроки посева	год	$M \pm m$	lim	V, %
первая декада июня	2011-2013	261.7 ± 18.1	250.6 - 308.3	18.2
	2014-2016	280.1 ± 15.1	244.2 - 298.3	16.5
	2017-2019	271.8 ± 13.0	239.6 - 287.7	17.3
	среднее	271.2 ± 15.4	244.8 - 298.1	9.8
вторая декада июня	2011-2013	199.6 ± 24.3	165.3 - 232.6	18.8
	2014-2016	207.4 ± 20.3	162.3 - 229.5	18.4
	2017-2019	190.1 ± 16.3	151.2 - 220.1	19.1
	среднее	199.0 ± 20.3	159.6 - 227.4	17.7

**Кормовые достоинства подсолнечника при внесении минеральных
удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве при орошении**

Параметры оценки		Год	Вариант опыта					
			контроль		NPK ₉₀		NPK ₁₂₀	
			схема посева междурядий, см					
			30	60	30	60	30	60
протеин	% на абс. сухое вещество	2013 - 2015	14.7	13.5	16.2	15.8	17.2	15.3
		2016 - 2018	14.5	14.2	14.5	16.7	14.7	17.2
		2019 - 2021	12.3	14.5	15.3	14.8	16.2	16.5
клетчатка		2013 - 2015	36.5	34.1	33.6	33.8	32.9	32.6
		2016 - 2018	34.5	36.3	32.8	35.6	34.9	34.8
		2019 - 2021	35.7	35.3	34.7	34.7	33.8	33.2
жир		2013 - 2015	2.1	2.4	2.6	2.7	2.7	2.7
		2016 - 2018	2.2	2.4	2.7	2.9	2.3	2.5
		2019 - 2021	2.5	2.5	2.5	2.8	2.5	2.8
зола		2013 - 2015	6.6	5.4	7.8	6.2	7.9	6.1
		2016 - 2018	4.5	6.5	5.6	7.9	5.9	8.3
		2019 - 2021	5.3	4.6	6.8	7.2	6.9	7.1
БЭВ		2013 - 2015	41.6	43.7	40.6	38.6	39.4	39.0
		2016 - 2018	42.8	41.9	42.8	40.5	41.7	41.1
		2019 - 2021	43.7	42.8	41.7	39.6	40.6	40.1
кормовая единица	кг сухого вещества	2013 - 2015	0.58	0.58	0.62	0.63	0.62	0.66
		2016 - 2018	0.61	0.62	0.64	0.61	0.61	0.61
		2019 - 2021	0.57	0.61	0.63	0.59	0.64	0.62
переваримый протеин, г		2013 - 2015	94.2	95.7	105.7	110.5	113.1	114.2
		2016 - 2018	92.7	94.1	106.5	109.4	110.9	115.8
		2019 - 2021	92.1	95.3	102.7	110.2	112.1	115.1

**Кормовые достоинства подсолнечника при разных сроках посева
на мерзлотной аллювиальной дерновой почве при орошении**

Параметры оценки		Год	Сроки посева, декады июня		
			I - VI	II - VI	III - VI
протеин	% на абс. сухое вещество	2013-2015	14.7	15.5	16.2
		2016-2018	15.1	15.7	15.4
		2019-2021	15.3	15.6	16.8
клетчатка		2013-2015	34.6	34.1	32.8
		2016-2018	34.5	35.7	32.8
		2019-2021	34.4	34.2	33.1
жир		2013-2015	2.8	2.7	2.8
		2016-2018	2.6	2.9	2.7
		2019-2021	2.7	2.7	2.5
зола		2013-2015	6.8	6.4	6.4
		2016-2018	6.5	6.7	5.6
		2019-2021	6.2	6.9	6.4
БЭВ		2013-2015	41.6	40.3	42.3
		2016-2018	40.2	40.1	42.6
		2019-2021	41.7	39.8	41.3
кормовая единица	кг сухого вещества	2013-2015	0.60	0.59	0.67
		2016-2018	0.61	0.62	0.64
		2019-2021	0.62	0.61	0.63
переваримый протеин, г		2013-2015	103.2	107.3	112.2
		2016-2018	103.4	108.7	113.8
		2019-2021	102.5	108.1	113.1

**Кормовые достоинства посевов подсолнечника при разных сроках посева
на мерзлотной дерново-луговой почве без орошения**

Параметры оценки		Год	Сроки посева, декада июня	
			I - VI	II - VI
протеин	% на абсолютно сухое вещество	2011-2013	14.9	16.3
		2014-2016	14.7	14.2
		2017-2019	14.8	14.5
клетчатка		2011-2013	36.5	34.1
		2014-2016	34.5	35.2
		2017-2019	35.3	35.3
жир		2011-2013	2.3	2.4
		2014-2016	2.6	2.4
		2017-2019	2.5	2.5
зола		2011-2013	7.7	7.4
		2014-2016	7.2	7.2
		2017-2019	7.3	7.1
БЭВ		2011-2013	38.9	41.2
		2014-2016	40.3	40.1
		2017-2019	40.1	39.5
кормовая единица	кг сухого вещества	2011-2013	0.58	0.57
		2014-2016	0.60	0.61
		2017-2019	0.57	0.60
переваримый протеин, г		2011-2013	100.3	103.6
		2014-2016	98.7	102.2
		2017-2019	104.1	103.2

Статистики урожая суданской травы при внесении минеральных удобрений
на мерзлотной лугово-черноземной почве при орошении, ц/га (n = 9)

Вариант опыта		Год	$M \pm m$	lim	V, %
контроль, без удобрений	30 см	2013 - 2015	186.1 ± 15.2	179.4 - 222.8	7.3
		2016 - 2018	170.3 ± 12.5	170.1 - 214.0	4.3
		2019 - 2021	214.1 ± 10.7	161.4 - 205.5	3.6
		среднее	190.2 ± 12.8	170.3 - 214.1	17.0
	60 см	2013 - 2015	184.3 ± 14.4	170.3 - 205.6	3.5
		2016 - 2018	160.2 ± 10.4	159.2 - 196.7	5.0
		2019 - 2021	196.7 ± 7.3	151.2 - 187.8	3.4
		среднее	180.4 ± 10.7	160.2 - 196.7	16.3
NPK ₉₀	30 см	2013 - 2015	234.5 ± 18.6	224.7 - 278.4	2.8
		2016 - 2018	214.2 ± 14.8	214.1 - 266.1	2.8
		2019 - 2021	266.3 ± 12.2	203.8 - 254.4	2.6
		среднее	238.3 ± 15.2	214.2 - 266.3	12.2
	60 см	2013 - 2015	216.9 ± 17.3	209.9 - 261.4	5.5
		2016 - 2018	201.6 ± 13.2	201.3 - 247.8	2.6
		2019 - 2021	248.2 ± 10.6	193.6 - 235.4	2.5
		среднее	222.2 ± 13.7	201.6 - 248.2	11.2
NPK ₁₂₀	30 см	2013 - 2015	245.6 ± 15.8	242.8 - 280.8	1.7
		2016 - 2018	230.3 ± 10.4	229.7 - 268.2	4.1
		2019 - 2021	268.6 ± 7.1	218.4 - 256.8	5.6
		среднее	248.2 ± 11.1	230.3 - 268.6	9.9
	60 см	2013 - 2015	229.2 ± 11.4	228.5 - 258.4	3.1
		2016 - 2018	217.2 ± 7.9	217.5 - 245.8	2.8
		2019 - 2021	246.2 ± 5.6	206.8 - 234.4	2.0
		среднее	231.0 ± 8.3	217.6 - 246.2	10.7

Статистики урожая суданской травы при разных сроках посева
на мерзлотной аллювиальной дерновой почве при орошении, ц/га

Вариант опыта		Показатели оценки, n = 9		
сроки посева	год	$M \pm m$	lim	V, %
первая декада июня	2013-2015	253.1 ± 15.4	222.6 - 265.3	11.9
	2016-2018	251.4 ± 12.2	214.3 - 252.6	10.8
	2019-2021	213.9 ± 10.8	204.8 - 241.4	9.8
	среднее	239.5 ± 12.8	213.9 - 253.1	9.5
вторая декада июня	2013-2015	272.7 ± 29.1	202.1 - 282.5	3.6
	2016-2018	263.8 ± 25.6	189.2 - 271.8	3.3
	2019-2021	190.5 ± 23.3	180.2 - 263.8	5.2
	среднее	242.3 ± 26.0	190.5 - 272.7	10.3
третья декада июня	2013-2015	168.2 ± 11.8	180.5 - 205.9	3.7
	2016-2018	192.4 ± 8.2	167.3 - 195.2	4.7
	2019-2021	195.3 ± 5.8	156.8 - 184.8	2.8
	среднее	185.3 ± 8.6	168.2 - 195.3	19.4

Кормовые достоинства суданской травы при внесении минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве при орошении

Параметры оценки		Год	Вариант опыта					
			контроль		NPK ₉₀		NPK ₁₂₀	
			схема посева междурядий, см					
			30	60	30	60	30	60
протеин	% на абс. сухое вещество	2013 - 2015	16.7	15.0	17.6	16.8	19.6	17.7
		2016 - 2018	15.2	13.9	18.3	17.3	18.7	19.2
		2019 - 2021	14.6	14.5	19.1	19.7	17.9	18.2
клетчатка		2013 - 2015	32.8	34.7	32.1	33.1	32.2	32.2
		2016 - 2018	33.6	32.6	31.7	32.5	32.8	33.1
		2019 - 2021	31.6	33.5	32.4	32.2	31.6	32.4
жир		2013 - 2015	2.6	2.4	2.6	2.6	3.0	2.7
		2016 - 2018	2.4	2.4	2.7	2.4	2.8	2.5
		2019 - 2021	2.5	2.5	2.5	2.5	2.9	2.6
зола		2013 - 2015	6.7	6.9	7.8	6.5	7.9	7.3
		2016 - 2018	7.7	6.2	8.4	7.9	8.2	8.3
		2019 - 2021	6.3	5.4	6.1	7.2	6.3	7.1
БЭВ		2013 - 2015	39.89	37.41	37.23	36.42	34.31	38.68
		2016 - 2018	41.29	33.15	36.45	36.51	38.90	33.49
		2019 - 2021	37.31	38.35	35.23	37.47	35.08	34.63
кормовая единица	кг сухого вещества	2013 - 2015	0.58	0.62	0.60	0.62	0.62	0.63
		2016 - 2018	0.62	0.61	0.65	0.62	0.63	0.61
		2019 - 2021	0.62	0.57	0.61	0.63	0.65	0.62
переваримый протеин, г		2013 - 2015	115.8	105.9	142.6	138.4	145.3	141.3
		2016 - 2018	114.7	104.8	141.1	136.5	143.6	142.5
		2019 - 2021	112.5	102.8	142.9	135.2	143.4	140.5

Статистики урожая кукурузы при внесении минеральных удобрений
на мерзлотной лугово-черноземной почве при орошении, ц/га (n = 11)

Вариант опыта		Год	$M \pm m$	lim	V, %
контроль, без удобрений	30 см	2013 - 2015	207.4 ± 20.4	214.3 - 275.3	11.5
		2016 - 2018	267.1 ± 18.6	206.5 - 267.6	12.3
		2019 - 2021	221.8 ± 15.0	201.4 - 258.4	9.5
		среднее	232.1 ± 18.0	207.4 - 267.1	13.4
	60 см	2013 - 2015	211.8 ± 19.2	217.3 - 276.5	13.4
		2016 - 2018	270.4 ± 16.5	213.8 - 271.7	11.4
		2019 - 2021	237.2 ± 15.3	204.6 - 263.0	16.4
		среднее	239.8 ± 17.0	211.8 - 270.4	12.3
NPK ₉₀	30 см	2013 - 2015	308.4 ± 16.5	312.5 - 363.5	10.5
		2016 - 2018	356.7 ± 14.5	307.5 - 357.8	13.3
		2019 - 2021	332.0 ± 10.7	301.2 - 348.8	14.5
		среднее	332.4 ± 13.9	308.4 - 356.7	7.3
	60 см	2013 - 2015	318.2 ± 14.2	324.5 - 367.2	15.3
		2016 - 2018	360.8 ± 11.9	317.6 - 359.6	12.2
		2019 - 2021	341.2 ± 10.8	312.5 - 355.9	14.3
		среднее	340.1 ± 12.3	318.2 - 360.8	6.3
NPK ₁₂₀	30 см	2013 - 2015	318.0 ± 19.3	326.5 - 385.6	10.4
		2016 - 2018	379.6 ± 18.3	317.2 - 379.5	15.2
		2019 - 2021	356.2 ± 16.4	310.3 - 373.7	11.3
		среднее	351.3 ± 18.0	318.0 - 379.6	8.9
	60 см	2013 - 2015	324.6 ± 17.6	332.2 - 387.5	14.4
		2016 - 2018	381.2 ± 16.3	326.8 - 381.5	12.3
		2019 - 2021	362.4 ± 15.9	314.8 - 374.6	16.3
		среднее	365.1 ± 16.6	324.6 - 381.2	8.1

Статистики урожая кукурузы при разных сроках посева
на мерзлотной аллювиальной дерновой почве при орошении, ц/га

Вариант опыта		Показатели оценки, n = 11		
сроки посева	год	$M \pm m$	lim	V, %
первая декада июня	2013-2015	359.6 ± 10.2	334.6 - 364.1	3.3
	2016-2018	349.8 ± 8.2	329.4 - 361.2	3.9
	2019-2021	330.3 ± 7.4	326.9 - 353.5	3.1
	среднее	346.6 ± 8.6	330.3 - 359.6	4.3
вторая декада июня	2013-2015	352.2 ± 23.2	286.5 - 357.6	2.7
	2016-2018	335.2 ± 21.4	280.2 - 352.7	4.7
	2019-2021	281.1 ± 19.6	276.6 - 346.3	4.4
	среднее	322.8 ± 21.4	281.1 - 352.2	11.5
третья декада июня	2013-2015	352.2 ± 9.6	130.2 - 160.2	6.8
	2016-2018	335.2 ± 7.5	127.6 - 154.2	9.6
	2019-2021	281.1 ± 6.6	119.6 - 142.2	14.7
	среднее	137.1 ± 7.9	125.8 - 152.2	9.9

Статистики урожая кукурузы при разных сроках посева
на мерзлотной дерново-луговой почве без орошения, ц/га

Вариант опыта		Показатели оценки, n = 11		
сроки посева	год	$M \pm m$	lim	V, %
первая декада июня	2011-2013	230.1 ± 26.8	189.8 - 280.6	11.9
	2014-2016	184.5 ± 24.7	184.6 - 269.8	16.6
	2017-2019	270.1 ± 22.6	179.1 - 259.9	14.1
	среднее	228.2 ± 24.7	184.5 - 270.1	18.8
вторая декада июня	2011-2013	298.5 ± 33.1	248.2 - 338.5	15.3
	2014-2016	238.4 ± 26.1	238.2 - 330.2	13.8
	2017-2019	331.1 ± 22.1	228.8 - 324.6	12.0
	среднее	289.3 ± 27.1	238.4 - 331.1	16.3

**Кормовые достоинства кукурузы при внесении минеральных удобрений
на мерзлотной лугово-черноземной почве при орошении**

Параметры оценки		Год	Вариант опыта					
			контроль		NPK ₉₀		NPK ₁₂₀	
			схема посева междурядий, см					
		30	60	30	60	30	60	
протеин	% на абс. сухое вещество	2013 - 2015	18.7	18.0	21.4	18.9	19.1	18.5
		2016 - 2018	17.7	16.4	20.4	20.7	21.1	20.1
		2019 - 2021	16.9	17.0	19.1	19.7	19.9	19.3
клетчатка		2013 - 2015	36.5	34.1	32.8	31.8	31.9	31.4
		2016 - 2018	34.5	36.3	32.4	31.5	31.9	31.4
		2019 - 2021	35.7	35.3	32.9	31.8	31.8	31.7
жир		2013 - 2015	2.1	2.4	2.6	2.7	2.7	2.7
		2016 - 2018	2.2	2.4	2.7	2.9	2.6	2.5
		2019 - 2021	2.5	2.5	2.5	2.8	2.5	2.8
зола		2013 - 2015	6.6	5.4	7.8	6.2	7.9	6.1
		2016 - 2018	4.5	6.5	5.6	7.9	5.9	8.3
		2019 - 2021	5.3	4.6	6.8	7.2	6.9	7.1
БЭВ		2013 - 2015	33.6	39.3	31.7	36.4	33.5	39.2
		2016 - 2018	38.9	33.5	36.8	32.8	38.9	33.9
		2019 - 2021	36.1	39.1	35.8	34.6	35.0	34.6
кормовая единица	кг сухого вещества	2013 - 2015	0.55	0.60	0.62	0.65	0.62	0.66
		2016 - 2018	0.59	0.54	0.67	0.64	0.65	0.64
		2019 - 2021	0.57	0.59	0.63	0.66	0.65	0.64
переваримый протеин, г		2013 - 2015	136.9	117.3	170.4	148.8	154.3	134.2
		2016 - 2018	119.7	130.2	157.0	165.8	135.2	158.1
		2019 - 2021	125.6	115.4	146.9	155.8	158.1	152.8

**Кормовые достоинства кукурузы при разных сроках посева
на мерзлотной аллювиальной дерновой почве при орошении**

Параметры оценки		Год	Сроки посева, декады июня		
			I - VI	II - VI	III - VI
протеин	% на абс. сухое вещество	2013-2015	19.7	21.2	22.6
		2016-2018	21.7	22.3	21.5
		2019-2021	20.8	21.6	21.6
клетчатка		2013-2015	34.3	33.5	32.5
		2016-2018	32.6	34.1	32.4
		2019-2021	31.8	31.7	32.6
жир		2013-2015	2.3	2.8	2.7
		2016-2018	2.4	2.7	2.6
		2019-2021	2.7	2.5	2.8
зола		2013-2015	7.9	7.8	7.1
		2016-2018	8.1	7.7	7.6
		2019-2021	7.6	7.4	7.4
БЭВ		2013-2015	33.3	35.1	33.5
		2016-2018	38.2	35.6	37.6
		2019-2021	36.4	34.3	35.0
кормовая единица	кг сухого вещества	2013-2015	0.68	0.64	0.69
		2016-2018	0.61	0.67	0.66
		2019-2021	0.65	0.68	0.65
переваримый протеин, г		2013-2015	151.0	167.3	167.5
		2016-2018	155.3	162.3	158.4
		2019-2021	154.3	155.7	166.4

**Кормовые достоинства посевов кукурузы при разных сроках посева
на мерзлотной дерново-луговой почве без орошения**

Параметры оценки		Год	Сроки посева, декада июня	
			I - VI	II - VI
протеин	% на абс. сухое вещество	2011-2013	19.3	18.7
		2014-2016	18.2	20.5
		2017-2019	20.1	19.4
клетчатка		2011-2013	30.4	31.8
		2014-2016	31.5	31.5
		2017-2019	32.4	32.3
жир		2011-2013	2.6	2.7
		2014-2016	2.8	2.9
		2017-2019	2.7	2.6
зола		2011-2013	8.1	9.5
		2014-2016	8.5	8.7
		2017-2019	8.5	9.4
БЭВ		2011-2013	38.1	36.2
		2014-2016	38.4	37.2
		2017-2019	38.3	36.4
кормовая единица	кг сухого вещества	2011-2013	0.67	0.65
		2014-2016	0.68	0.64
		2017-2019	0.66	0.66
переваримый протеин, г		2011-2013	140.3	142.2
		2014-2016	140.6	143.5
		2017-2019	138.7	141.1

Статистики урожая редьки масличной при внесении
минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве
при орошении, ц/га (n = 9)

Вариант опыта		Год	$M \pm m$	lim	V, %
контроль, без удобрений	30 см	2013 - 2015	175.3 ± 13.4	170.6 - 212.2	6.9
		2016 - 2018	199.3 ± 9.6	157.8 - 199.1	5.9
		2019 - 2021	158.0 ± 6.4	145.6 - 186.6	6.5
		среднее	177.5 ± 9.8	158.0 - 199.3	9.6
	60 см	2013 - 2015	164.3 ± 6.4	140.7 - 176.2	5.6
		2016 - 2018	128.3 ± 4.8	127.8 - 164.1	5.0
		2019 - 2021	152.0 ± 3.8	116.4 - 152.6	6.0
		среднее	161.7 ± 5.0	128.3 - 164.3	5.4
NPK ₉₀	30 см	2013 - 2015	233.2 ± 9.7	199.6 - 242.4	6.1
		2016 - 2018	192.3 ± 6.5	192.4 - 229.8	4.5
		2019 - 2021	213.6 ± 4.2	184.9 - 218.4	3.1
		среднее	202.2 ± 6.8	192.3 - 230.2	5.8
	60 см	2013 - 2015	212.3 ± 5.2	198.7 - 224.4	4.3
		2016 - 2018	186.5 ± 2.2	186.3 - 212.1	5.0
		2019 - 2021	204.6 ± 1.9	174.5 - 200.4	4.9
		среднее	191.6 ± 3.1	186.5 - 212.3	2.8
NPK ₁₂₀	30 см	2013 - 2015	254.6 ± 21.5	219.2 - 266.8	3.8
		2016 - 2018	226.0 ± 18.3	208.5 - 254.3	4.4
		2019 - 2021	209.3 ± 15.7	200.2 - 242.7	4.2
		среднее	218.8 ± 18.5	209.3 - 254.6	14.6
	60 см	2013 - 2015	242.2 ± 19.7	212.4 - 252.8	5.1
		2016 - 2018	217.3 ± 16.6	199.9 - 240.2	4.2
		2019 - 2021	200.3 ± 13.8	188.6 - 230.6	7.2
		среднее	212.2 ± 16.7	200.3 - 241.2	13.6

Статистики урожая редьки масличной при разных сроках посева
на мерзлотной аллювиальной дерновой почве при орошении, ц/га

Вариант опыта		Показатели оценки, n = 9		
сроки посева	год	$M \pm m$	lim	V, %
первая декада июня	2013-2015	240.6 ± 22.1	194.0 - 252.8	6.2
	2016-2018	186.5 ± 18.2	183.8 - 240.2	2.6
	2019-2021	184.1 ± 14.9	174.5 - 228.8	4.6
	среднее	203.7 ± 18.4	184.1 - 240.6	15.7
вторая декада июня	2013-2015	219.8 ± 7.1	214.8 - 232.4	8.4
	2016-2018	205.6 ± 5.1	202.3 - 219.4	7.9
	2019-2021	202.5 ± 3.7	190.4 - 207.6	5.0
	среднее	209.3 ± 5.3	202.5 - 219.8	4.4
третья декада июня	2013-2015	209.5 ± 22.8	154.6 - 221.3	8.4
	2016-2018	165.8 ± 18.8	145.3 - 209.1	3.1
	2019-2021	145.4 ± 15.1	136.3 - 198.1	10.5
	среднее	173.6 ± 18.9	145.4 - 209.5	18.9

**Кормовые достоинства редьки масличной при внесении минеральных
удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве при орошении**

Параметры оценки		Год	Вариант опыта					
			контроль		NPK ₉₀		NPK ₁₂₀	
			схема посева междурядий, см					
30	60	30	60	30	60			
протеин	% на абс. сухое вещество	2013 - 2015	16.7	17.1	20.7	21.0	20.6	21.3
		2016 - 2018	16.8	16.9	20.9	21.0	21.2	20.8
		2019 - 2021	17.1	17.3	20.8	21.2	18.7	19.6
клетчатка		2013 - 2015	30.3	29.7	28.4	28.8	28.9	29.3
		2016 - 2018	30.5	30.1	28.1	29.1	28.7	28.9
		2019 - 2021	30.4	30.3	27.8	29.3	28.8	27.9
жир		2013 - 2015	1.9	1.9	2.6	2.6	2.6	2.7
		2016 - 2018	2.0	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5
		2019 - 2021	2.5	2.3	2.5	2.3	2.5	2.6
зола		2013 - 2015	6.7	7.9	8.5	8.6	7.9	8.1
		2016 - 2018	7.7	7.7	8.7	7.9	9.9	8.3
		2019 - 2021	6.3	7.8	8.6	9.0	8.5	7.6
БЭВ		2013 - 2015	40.49	39.45	37.65	35.70	35.63	38.68
		2016 - 2018	41.29	39.27	37.19	35.71	38.90	37.56
		2019 - 2021	37.31	41.58	35.56	35.69	35.87	34.75
кормовая единица	кг сухого вещества	2013 - 2015	0.58	0.62	0.73	0.65	0.68	0.71
		2016 - 2018	0.66	0.68	0.68	0.73	0.71	0.72
		2019 - 2021	0.68	0.67	0.72	0.68	0.69	0.67
переваримый протеин, г		2013 - 2015	127.6	129.6	166.8	167.3	157.6	161.2
		2016 - 2018	126.1	127.8	163.4	165.4	155.7	161.7
		2019 - 2021	128.4	128.7	167.2	166.8	155.2	162.5

Кормовые достоинства редьки масличной при внесении минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве при орошении

Параметры оценки		Год	Вариант опыта					
			контроль		NPK ₉₀		NPK ₁₂₀	
			схема посева междурядий, см					
			30	60	30	60	30	60
обменная энергия	МДж/ сух. в-во	2013 - 2015	8.9	9.2	9.7	9.4	8.9	9.5
		2016 - 2018	9.1	9.0	9.6	9.3	9.6	9.1
		2019 - 2021	9.0	9.1	8.9	9.2	9.5	9.7
валовая энергия		2013 - 2015	18.4	18.9	18.9	18.8	18.7	18.9
		2016 - 2018	18.6	18.4	19.1	18.6	18.4	18.7
		2019 - 2021	18.5	18.2	18.3	18.6	18.6	18.8
кормовая единица	кг сухого вещества	2013 - 2015	0.58	0.62	0.73	0.65	0.68	0.71
		2016 - 2018	0.66	0.68	0.68	0.73	0.71	0.72
		2019 - 2021	0.68	0.67	0.72	0.68	0.69	0.67
переваримый протеин, г		2013 - 2015	127.6	129.6	166.8	167.3	157.6	161.2
		2016 - 2018	126.1	127.8	163.4	165.4	155.7	161.7
		2019 - 2021	128.4	128.7	167.2	166.8	155.2	162.5

**Кормовые достоинства редьки масличной при разных сроках посева
на мерзлотной аллювиальной дерновой почве при орошении**

Параметры оценки		Год	Сроки посева, декады июня		
			I - VI	II - VI	III - VI
протеин	% на абс. сухое вещество	2013-2015	21.2	23.4	20.1
		2016-2018	19.8	23.2	21.6
		2019-2021	21.3	23.3	21.3
клетчатка		2013-2015	30.6	29.9	30.2
		2016-2018	30.4	30.2	29.8
		2019-2021	30.5	30.1	30.2
жир		2013-2015	3.2	3.3	2.9
		2016-2018	3.1	3.2	3.1
		2019-2021	3.0	3.1	3.0
зола		2013-2015	8.3	8.5	7.8
		2016-2018	8.1	8.2	8.1
		2019-2021	8.2	8.3	8.2
БЭВ		2013-2015	37.51	36.02	37.56
		2016-2018	37.56	35.09	39.56
		2019-2021	37.42	34.18	36.89

Статистики урожая просо при внесении минеральных удобрений
на мерзлотной лугово-черноземной почве при орошении, ц/га (n = 9)

Вариант опыта		Год	$M \pm m$	lim	V, %
контроль, без удобрений	30 см	2013 - 2015	178.2 ± 11.6	145.8 - 190.2	4.6
		2016 - 2018	136.9 ± 9.7	136.8 - 177.9	6.0
		2019 - 2021	154.2 ± 8.1	128.1 - 166.5	4.7
		среднее	156.4 ± 9.8	136.9 - 178.2	10.9
	60 см	2013 - 2015	164.3 ± 7.2	136.9 - 176.8	6.1
		2016 - 2018	127.3 ± 4.7	138.2 - 163.9	3.8
		2019 - 2021	152.0 ± 3.1	128.1 - 152.2	3.6
		среднее	148.2 ± 5.0	128.3 - 164.3	5.9
NPK ₉₀	30 см	2013 - 2015	230.2 ± 9.4	201.5 - 240.6	2.6
		2016 - 2018	192.3 ± 6.6	191.8 - 229.6	3.7
		2019 - 2021	213.6 ± 4.4	183.6 - 220.4	2.0
		среднее	212.0 ± 6.8	192.3 - 230.2	5.5
	60 см	2013 - 2015	212.3 ± 4.9	198.4 - 224.3	4.5
		2016 - 2018	186.5 ± 3.0	186.2 - 212.2	0.9
		2019 - 2021	204.6 ± 1.4	174.9 - 200.4	1.4
		среднее	201.1 ± 3.1	186.5 - 212.3	2.7
NPK ₁₂₀	30 см	2013 - 2015	254.6 ± 25.6	221.9 - 267.2	2.4
		2016 - 2018	226.0 ± 18.3	208.4 - 254.2	3.4
		2019 - 2021	209.3 ± 11.6	197.6 - 242.4	1.3
		среднее	230.0 ± 18.5	209.3 - 254.6	13.9
	60 см	2013 - 2015	242.2 ± 19.8	212.4 - 253.1	1.7
		2016 - 2018	217.3 ± 16.5	199.4 - 240.2	3.2
		2019 - 2021	200.3 ± 13.8	189.1 - 230.3	3.6
		среднее	219.6 ± 16.7	200.3 - 241.2	13.2

Статистики урожая просо при разных сроках посева
на мерзлотной аллювиальной дерновой почве при орошении, ц/га

Вариант опыта		Показатели оценки, n = 9		
сроки посева	год	$M \pm m$	lim	V, %
первая декада июня	2013-2015	232.7 ± 9.8	219.4 - 244.9	5.3
	2016-2018	211.7 ± 7.7	206.9 - 232.6	3.7
	2019-2021	207.3 ± 5.9	195.6 - 220.6	6.4
	среднее	217.2 ± 7.8	207.3 - 232.7	6.2
вторая декада июня	2013-2015	195.8 ± 7.4	188.8 - 207.8	4.3
	2016-2018	186.8 ± 5.3	176.6 - 195.4	2.4
	2019-2021	$176.9 \pm 3,8$	165.3 - 184.2	7.7
	среднее	186.5 ± 5.5	176.9 - 195.8	5.1
третья декада июня	2013-2015	138.4 ± 19.2	92.7 - 150.4	3.7
	2016-2018	97.6 ± 15.7	84.8 - 138.3	3.6
	2019-2021	125.8 ± 13.4	77.5 - 126.5	14.7
	среднее	107.0 ± 16.1	85.0 - 138.4	26.1

Кормовые достоинства просо кормового при внесении минеральных удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве при орошении

Параметры оценки		Год	Вариант опыта					
			контроль		NPK ₉₀		NPK ₁₂₀	
			схема посева междурядий, см					
30	60	30	60	30	60			
протеин	% на абс. сухое вещество	2013 - 2015	16.5	16.6	18.6	17.3	19.1	17.7
		2016 - 2018	16.5	15.8	17.4	18.4	17.7	18.7
		2019 - 2021	15.8	15.7	18.2	18.2	19.9	19.3
клетчатка		2013 - 2015	31.5	32.1	31.4	31.6	31.4	31.4
		2016 - 2018	32.8	33.5	31.9	31.2	31.2	30.7
		2019 - 2021	33.5	31.8	30.7	31.4	30.5	31.2
жир		2013 - 2015	2.1	2.4	2.6	2.7	2.7	2.7
		2016 - 2018	2.2	2.4	2.7	2.4	3.1	2.8
		2019 - 2021	2.5	2.5	2.9	2.8	2.5	2.8
зола		2013 - 2015	7.3	5.8	7.6	6.2	7.9	6.1
		2016 - 2018	6.8	6.8	8.1	7.9	6.8	8.3
		2019 - 2021	6.3	7.5	6.2	7.2	6.9	7.1
БЭВ		2013 - 2015	39.26	39.99	36.64	35.23	37.04	39.25
		2016 - 2018	39.87	39.92	36.71	36.42	37.64	37.64
		2019 - 2021	39.96	40.47	37.14	35.55	35.69	34.24
кормовая единица	кг сухого вещества	2013 - 2015	0.65	0.66	0.72	0.66	0.69	0.69
		2016 - 2018	0.69	0.64	0.71	0.72	0.71	0.70
		2019 - 2021	0.57	0.67	0.70	0.70	0.68	0.72
переваримый протеин, г		2013 - 2015	136.9	121.2	178.8	158.3	154.3	161.9
		2016 - 2018	119.7	139.5	160.7	175.4	155.6	162.6
		2019 - 2021	125.6	125.4	157.9	165.8	158.7	160.8

**Кормовые достоинства просо кормового при внесении минеральных
удобрений на мерзлотной лугово-черноземной почве при орошении**

Параметры оценки		Год	Вариант опыта						
			контроль	NPK ₉₀			NPK ₁₂₀		
				схема посева междурядий, см					
				30	60	30	60	30	60
обменная энергия	МДж/ сух В-ВО	2013 - 2015	8.7	8.6	8.9	9.0	9.1	9.2	
		2016 - 2018	8.9	8.8	9.1	8.8	9.2	8.9	
		2019 - 2021	8.8	8.7	9.0	9.2	8.9	9.1	
валовая энергия		2013 - 2015	18.7	19.0	19.1	18.9	19.2	19.1	
		2016 - 2018	18.9	18.8	19.2	18.8	18.7	18.7	
		2019 - 2021	18.8	18.7	18.4	19.0	18.9	18.8	
кормовая единица	кг сухого вещества	2013 - 2015	0.63	0.60	0.62	0.65	0.64	0.66	
		2016 - 2018	0.62	0.58	0.67	0.64	0.67	0.68	
		2019 - 2021	0.57	0.62	0.63	0.66	0.67	0.64	
переваримый протеин, г		2013 - 2015	123.4	117.3	139.8	139.8	150.1	143.2	
		2016 - 2018	119.8	123.4	142.6	137.5	135.6	142.3	
		2019 - 2021	122.1	114.9	138.9	135.7	152.3	144.2	

**Кормовые достоинства просо кормового при разных сроках посева
на мерзлотной аллювиальной дерновой почве при орошении**

Параметры оценки		Год	Сроки посева, декады июня		
			I - VI	II - VI	III - VI
протеин	% на абс. сухое вещество	2013-2015	19.2	18.8	18.5
		2016-2018	17.1	21.3	20.6
		2019-2021	18.3	20.1	19.6
клетчатка		2013-2015	33.2	33.1	33.2
		2016-2018	32.6	31.6	33.2
		2019-2021	31.4	32.4	31.5
жир		2013-2015	2.5	2.6	2.4
		2016-2018	2.7	2.8	2.3
		2019-2021	2.6	2.5	2.6
зола		2013-2015	6.9	7.3	7.4
		2016-2018	7.2	7.5	7.5
		2019-2021	7.1	7.3	7.6
БЭВ		2013-2015	39.78	38.49	37.56
		2016-2018	38.84	37.32	39.56
		2019-2021	40.78	36.68	36.89
кормовая единица	кг сухого вещества	2013-2015	0.68	0.66	0.64
		2016-2018	0.65	0.67	0.67
		2019-2021	0.66	0.68	0.63
переваримый протеин, г		2013-2015	131.2	148.3	143.4
		2016-2018	130.6	146.2	142.1
		2019-2021	132.5	150.2	144.2