

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

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

На правах рукописи

ЛЕВШУНОВ

Иван Александрович

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ ОРОШЕНИЯ
И ПАРАМЕТРОВ ДОЖДЕВАНИЯ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ
В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БЕЛАРУСИ

Направление подготовки 4.1.5 – Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
академик РАН,
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор
Дубенок Николай Николаевич

Москва, 2026 г.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРОШАЕМОГО ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ	14
1.1 Биологические особенности и агротехника возделывания суданской травы.....	14
1.2 Требования к водному режиму и опыт орошения суданской травы.....	22
1.3 Состояние изученности поверхностного стока при искусственном дождевании.....	26
2. МАТЕРИАЛЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	35
2.1 Природно-климатические условия восточной части Беларуси.....	35
2.2 Характеристика опытного участка.....	40
2.3 Программа, схема полевого опыта и методический инструментарий исследований	45
2.4 Агрометеорологические условия в период проведения исследований	50
2.5 Обеспеченность гидрометеорологическими ресурсами вегетационных периодов.....	53
3. ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ И РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БЕЛАРУСИ.....	59
3.1 Суммарное водопотребление суданской травы.....	59
3.2 Биоклиматические коэффициенты водопотребления суданской травы.....	74
3.3 Обоснование оптимального увлажнения почвы и активного слоя для суданской травы.....	84
3.4 Динамика влажности почвы и режим орошения суданской травы.....	87
4. ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК И ВПИТЫВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ ПРИ ДОЖДЕВАНИИ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ.....	94
4.1 Поверхностный сток при дождевании суданской травы.....	94

4.2 Исследование впитывающей способности почв опытного участка при дождевании.....	97
5. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ НАСАДКИ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА.....	106
5.1 Обзор и анализ существующих конструкций дождевальных устройств	106
5.2 Описание конструкции предложенной дождевальной насадки.....	111
5.3 Методика экспериментальных исследований качественных показателей искусственного дождя разработанной насадки	115
5.4 Результаты экспериментальных исследований расхода, интенсивности, крупности капель и равномерности полива разработанной дождевальной насадки	119
6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРОШАЕМОГО ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ.....	128
6.1 Урожайность суданской травы за период исследований.....	128
6.2 Оценка экономической эффективности возделывания суданской травы на зеленую массу при орошении.....	133
6.3 Оценка энергетической эффективности возделывания суданской травы на зеленую массу при орошении.....	134
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	143
ПРЕДЛОЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.....	145
ЛИТЕРАТУРА.....	146
ПРИЛОЖЕНИЯ	170

ВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В структуре посевных площадей Беларуси однолетние кормовые травы занимают от 30 до 40 % всех кормовых культур, причём суданская трава входит в эту группу наряду с другими видами. Однако, согласно данным Государственного реестра [28], в официальной статистике она не выделяется отдельной строкой: её учитывают либо в графе «однолетние травы на корм», либо в составе «прочих кормовых культур». Это затрудняет точную оценку фактических масштабов возделывания суданской травы в регионе и, как следствие, – анализ эффективности её орошения. В связи с этим в настоящей работе мы опирались на данные по отдельным хозяйствам восточной части Беларуси, где культура возделывается на зелёную массу.

Следует отметить, что в засушливые годы доля орошаемых площадей под однолетними травами может возрасть, однако систематического учёта таких изменений не ведётся.

Продуктивность сельского хозяйства в Беларуси во многом зависит от природно-климатических условий, что создает риски для продовольственной безопасности. Так, анализ осадков в восточной части Республики Беларусь показывает, что в отдельные периоды времени они могут значительно отклоняться от средних значений. Количественная оценка показателей естественного увлажнения и теплообеспеченности характерных для минеральных почв восточной части Беларуси позволила установить, что в засушливый год повторяемостью один раз в пять лет нехватка осадков будет составлять в среднем 100...200 мм.

В условиях усиления климатической нестабильности (учащение засух, неравномерное распределение осадков) восточные регионы Беларуси, отличающиеся меньшим количеством осадков по сравнению с западными, становятся зоной повышенного риска для растениеводства. Суданская трава, как однолетняя культура, обладает потенциалом для адаптации. Это требует внедрения управляемого орошения. Поэтому при таких условиях получение устойчивых урожаев однолетних культур, возделываемых на зелёный корм, в том числе и

суданской травы, трудновыполнимо без применения оросительных мелиораций и изучения её водного режима при орошении, что и подчеркивает актуальность выбранной темы исследований.

Степень разработанности работы. Теоретические основы и прикладные аспекты регулирования водного режима почвы при орошении сельскохозяйственных культур нашли отражение в трудах отечественных и зарубежных исследователей. Среди российских учёных следует выделить работы А.М. Алпатьева [7], В.В. Бородычева [17], В.И. Вихрова [20], Н.Н. Дубенка [43], А.Н. Костякова [74] и И.П. Кружилина [75], посвящённые разработке зональных режимов орошения для различных почвенно-климатических условий. Значительный вклад в изучение водопотребления кормовых культур на территории Беларуси внесли М.Г. Голченко [25], Т.Д. Лагун [80], А.П. Лихацевич [83] и А.И. Михальцевич [97]. Зарубежные исследования, выполненные А. Awad [182], S. Fletcher [186], Е.К. Kisambuli [188] и G.P. Morris [193], позволили расширить представления о продуктивности суданской травы в условиях орошения.

Для количественной оценки водопотребления сельскохозяйственных культур в научной литературе предложен ряд расчётных формул. Наибольшее распространение получили модели А.М. Алпатьева [7], С.М. Алпатьева [8], В.И. Вихрова [20], М.Г. Голченко [25], Н.Н. Дубенка [37], А.Н. Костякова [74] и А.П. Лихацевича [99]. Общей особенностью перечисленных подходов является использование биоклиматических коэффициентов, которые позволяют учитывать, как биологические особенности конкретной культуры, так и гидролого-климатическую специфику региона. Однако, как показывает анализ литературных источников, значения этих коэффициентов существенно варьируют в зависимости от природных условий, и их непосредственное применение для других зон требует значительной корректировки.

В отношении суданской травы, возделываемой на дерново-подзолистых суглинистых почвах восточной части Беларуси, такие коэффициенты до настоящего времени не установлены. Отсутствие зональных биоклиматических параметров не позволяет корректно рассчитывать водопотребление культуры и

обоснованно назначать поливные нормы. В связи с этим в рамках настоящего исследования поставлена задача определить указанные коэффициенты и разработать расчётную формулу для оценки суммарного водопотребления суданской травы применительно к условиям исследуемого региона.

Цель работы. Разработка и обоснование оптимальных режимов орошения и параметров дождевания суданской травы, возделываемой на зелёную массу на дерново-подзолистых суглинистых почвах восточной части Беларуси.

Задачи исследований:

1. Изучить требования суданской травы к водному режиму почвы.
2. Определить водопотребление суданской травы, а также установить биоклиматические коэффициенты водопотребления в условиях восточной части Беларуси.
3. Определить величину поверхностного стока на посевах суданской травы при дождевании в зависимости от поливных норм и интенсивности искусственного дождя от площади листовой поверхности культуры.
4. Разработать конструкцию дождеобразующего устройства, удовлетворяющим основным показателям качества искусственного дождя.
5. Экспериментально исследовать основные показатели качества искусственного дождя разработанного дождевального устройства.
6. Определить экономическую и энергетическую эффективность орошения дождеванием суданской травы.

Объект исследований. Объектом исследования являются посевы суданской травы сорта «Пружанская», «Сенокосная 88» выращиваемых на дерново-подзолистых суглинистых почвах восточной части Беларуси.

Предмет исследований. Предметом исследования являются водный режим дерново-подзолистых суглинистых почв под суданской травой, параметры искусственного дождевания, биоклиматические показатели суданской травы, экономические критерии эффективности внедряемых решений.

Научная новизна работы. Установлены фактические параметры водопотребления суданской травы при орошении дождеванием на дерново-

подзолистых суглинистых почвах восточной части Беларуси. Получены зональные биоклиматические коэффициенты водопотребления суданской травы по декадам вегетационного периода в зависимости от режима увлажнения. Выявлены закономерности формирования поверхностного стока на посевах суданской травы при дождевании. Количественно оценено совместное влияние интенсивности дождя, уклона поверхности и площади листовой поверхности растений на величину стока.

Разработана конструкция дождевальной насадки и обоснованы её оптимальные режимы работы, обеспечивающие эрозионно-безопасный и равномерный полив. На основе экономической и энергетической оценки доказана высокая эффективность возделывания суданской травы на зеленую массу с применением орошения в условиях восточной части Беларуси.

Теоретическая значимость проведённых исследований состоит в следующем. Впервые для дерново-подзолистых суглинистых почв восточной части Беларуси установлены расчётно-экспериментальные значения биоклиматических коэффициентов водопотребления суданской травы. В отличие от ранее известных данных, полученные коэффициенты учитывают комплекс гидролого-климатических показателей региона и могут быть использованы при планировании оросительных режимов. Дополнительно разработаны регрессионные уравнения, позволяющие прогнозировать суммарное водопотребление культуры по температуре воздуха, и дана количественная оценка изменчивости этого показателя в различные по увлажнению годы. Совокупность полученных зависимостей расширяет теоретические представления о водопотреблении однолетних кормовых культур в условиях неустойчивого увлажнения.

Практическая значимость работы заключается в разработке и обосновании конкретных режимов орошения суданской травы на зелёную массу. Для производственных условий рекомендованы два варианта поддержания влажности почвы – с нижними порогами 70...80 % и 80...90 % наименьшей влагоёмкости, с указанием сроков, норм и количества поливов применительно к восточной части Беларуси. Кроме того, предложена и запатентована конструкция мелкодисперсного

дождевального насадка (патент РФ № 2852370), применение которой позволяет снизить интенсивность дождя до значений, не превышающих скорость впитывания легкосуглинистых почв, и тем самым минимизировать поверхностный сток. Внедрение рекомендуемых технологий обеспечивает повышение урожайности культуры на 25–38 % и может служить основой для энерго- и ресурсосберегающего ведения кормопроизводства в регионе.

Методология и методы исследования. Методологической основой работы послужил системный подход, интегрирующий фундаментальные положения мелиоративной науки, агрофизики и растениеводства. Исследовательская программа строилась на сочетании полевых наблюдений, лабораторных анализов и расчётно-теоретических обобщений с учётом региональных особенностей восточной части Беларуси.

Полевые эксперименты закладывались и проводились согласно общепринятым требованиям, изложенным в «Методике полевого опыта» Б.А. Доспехова [33]. Для контроля водного режима почвы в течение вегетации влажность определяли термостатно-весовым способом (ГОСТ 28268-89) с периодичностью один раз в десять дней. Наименьшую влагоёмкость устанавливали методом заливаемых площадок (РД 52.33.219-2022), а плотность сложения почвенных горизонтов – методом режущего кольца (ГОСТ 3180-2015). Гранулометрический состав почвы изучали в лабораторных условиях по ГОСТ 12536-2014, что позволило уточнить тип почв и обосновать расчётные параметры водопроницаемости.

Учёт поверхностного стока при искусственном дождевании выполняли объёмным способом по приращению уровня воды в мерном баке на специально оборудованных стоковых площадках. Урожайность зелёной массы определяли методом сплошного скашивания всего травостоя на учётных делянках, а площадь листовой поверхности – расчётным методом, основанным на линейных параметрах листа [151]. Для оценки впитывающей способности почвы применяли малую дождевальную установку, позволяющую моделировать безнапорное впитывание при заданной интенсивности дождя.

При испытаниях разработанной конструкции дождевальной насадки расход воды измеряли объёмным способом (ГОСТ ИСО 8224-1-2004), крупность капель – методом бумажных фильтров (СТО АИСТ 11.1-2010), а равномерность распределения дождя по площади полива оценивали по слою воды в дождемерах, расставленных по радиусу действия насадки (ГОСТ ИСО 11545-2004). Статистическая обработка экспериментальных данных выполнялась методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа с использованием пакета MS Excel.

Обоснованность и достоверность результатов подтверждается многолетним циклом исследований. Статистическая обработка данных трёхлетнего натурного эксперимента сформировала эмпирически значимые зависимости на основе представительного массива измерений. Результаты согласуются с опубликованными научными данными. Заключение основано на применении апробированных методик, классических методов статистического анализа и соответствуют действующим отраслевым стандартам.

Научные положения, выносимые на защиту.

1. Режим орошения суданской травы, включающий зональные биоклиматические коэффициенты и регрессионные модели, позволяющие прогнозировать суммарное водопотребление культуры и обосновывать поддержание предполивной влажности почвы на уровне 70-80 % НВ.

2. Закономерности формирования поверхностного стока при природоподобных технологиях орошения, устанавливающие количественную зависимость величины стока от интенсивности дождя, уклона участка и площади листовой поверхности суданской травы.

3. Конструкция дождевальной насадки, обеспечивающая интенсивность искусственного дождя, не превышающую скорость впитывания почвы, и формирующая преимущественно мелкодисперсный дождь с высокими показателями равномерности распределения.

4. Экономическая и энергетическая эффективность возделывания суданской травы на зеленую массу при орошении дождеванием в условиях восточной части

Беларуси, обосновывающая целесообразность применения режима орошения с поддержанием влажности почвы 70-80 % НВ как наиболее рационального с позиций окупаемости затрат.

Степень достоверности результатов. Достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, обеспечена следующими факторами. Экспериментальная база сформирована по результатам трёхлетних полевых исследований (2020–2022 гг.), охватывающих различные по гидротермическим условиям вегетационные периоды – от средневлажного до среднесухого (обеспеченность 31,2...70,8 %).

Все полевые и лабораторные работы проводились с использованием стандартизированных и апробированных методик: влажность почвы определялась термостатно-весовым способом (ГОСТ 28268-89), водопроницаемость – методом искусственного дождевания, гранулометрический состав – по ГОСТ 12536-2014, равномерность полива – по ГОСТ ИСО 11545-2004, крупность капель – по СТО АИСТ 11.1-2010. Применяемое оборудование (дождевальная установка Bauer Rainstar T-61, стоковые площадки, малая дождевальная установка, дождемеры) прошло метрологическую поверку и калибровку в соответствии с требованиями.

Обработка экспериментальных данных выполнена методами вариационной статистики с определением средних арифметических, среднеквадратических отклонений, ошибок опыта и наименьшей существенной разности. Статистическая значимость различий между вариантами подтверждена дисперсионным анализом, а взаимосвязи между параметрами установлены с помощью корреляционно-регрессионного анализа (коэффициенты корреляции $r = 0,71 \dots 0,77$). Полученные результаты согласуются с опубликованными данными других исследователей и не противоречат известным физическим закономерностям влагопереноса в почвах.

Апробация работы. Результаты исследований были апробированы на научных мероприятиях:

- международной научно-технической конференции «Исследования и последние достижения в АПК и биотехнологиях» ABR-2021, Краснодар 24-26 мая 2021 г;

- международной научно-практической конференции «Актуальные научно-технические экологические проблемы мелиорации земель», Горки 20-21 апреля 2023 г;
- международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения Миловича Александра Яковлевича, Москва, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 3-5 июня 2024 г;
- международной научно-практической Интернет-конференции «Мелиорация: история и современность», посвящённой 80-й годовщине Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 годов, Москва, ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 15 апреля 2025 г;
- международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 160-летию Тимирязевской академии, Москва, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2-4 июня 2025 г;
- международной научной конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки», ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», 8-12 сентября 2025 г;
- международной научно-практической конференции, посвящённой памяти члена-корреспондента РАСХН и НАН КР академика МАЭП и РАВН Бочкарёва Я.В. 9-10 декабря 2025 г.

Публикации. Основные результаты диссертационного исследования отражены в 16 печатных работах общим объёмом 6,33 печатных листов. Из них 4 статьи опубликованы в рецензируемых научных журналах, включённых в перечень ВАК Российской Федерации и Республики Беларусь, что подтверждает их соответствие требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Ещё 11 работ представлены в виде статей и тезисов докладов в сборниках материалов международных научных конференций, перечисленных в разделе «Апробация работы». Кроме того, по результатам конструкторской разработки получен 1 патент Российской Федерации на изобретение (№ 2852370), который защищает предложенную конструкцию мелкодисперсного дождевального насадка.

Личный вклад автора. Все этапы диссертационного исследования, от постановки проблемы до обобщения результатов, выполнены автором лично. Вклад соискателя заключается в следующем:

- проведён системный анализ отечественной и зарубежной научной литературы по вопросам водопотребления суданской травы, режимам орошения и техническим средствам дождевания, на основе чего сформулированы цель, задачи и рабочая гипотеза исследования;

- выполнена организация полевого эксперимента на базе учебно-опытного комплекса «Тушково-1» Горецкого района: проведён выбор и подготовка участка, оборудование стоковых площадок, организация опытов по трём вариантам увлажнения (без орошения, 70...80 % НВ и 80...90 % НВ) с четырёхкратной повторностью в течение 2020–2022 гг.;

- лично выполнены все полевые наблюдения, включая определение влажности почвы термостатно-весовым способом, учёты поверхностного стока объёмным методом, измерения площади листовой поверхности и урожайности зелёной массы методом сплошного скашивания;

- проведена математико-статистическая обработка экспериментальных данных с расчётом средних величин, ошибок опыта, корреляционных и регрессионных зависимостей;

- на основе анализа существующих конструкций дождевателей разработана и запатентована новая конструкция мелкодисперсного дождевального насадка (патент РФ № 2852370), выполнены её лабораторные испытания и обоснованы оптимальные режимы работы;

- сформулированы основные научные положения, выводы и рекомендации производству, подготовлены и опубликованы 16 печатных работ (включая 4 статьи ВАК), а также представлены доклады на 7 международных конференциях.

Структура и объём работы. Диссертация построена по классической схеме, принятой для кандидатских исследований по техническим наукам. Работа состоит из введения, шести глав, объединённых общей логикой: от анализа состояния вопроса (глава 1) и описания методики (глава 2) к экспериментальному

обоснованию режимов орошения (глава 3), изучению стоковых процессов (глава 4), разработке технического решения (глава 5) и завершается оценкой экономической и энергетической эффективности (глава 6). В заключительной части сформулированы основные выводы и практические рекомендации производству.

Общий объём диссертации составляет 236 страниц машинописного текста. Иллюстративный материал представлен 35 рисунками, цифровой и фактологический материал систематизирован в 36 таблицах. Вспомогательные и уточняющие данные вынесены в 18 приложений. Библиографический список включает 201 наименование, в том числе 18 работ зарубежных авторов.

1. АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРОШАЕМОГО ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ

1.1 Биологические особенности и агротехника возделывания суданской травы

Суданская трава (*Sorghum sudanense*) относится к числу высокопродуктивных однолетних кормовых культур, что подтверждается данными ряда авторов [6, 44, 46]. Её возделывают в различных направлениях использования: на зелёный корм, сено, силос, сенаж, а также для получения зерна. Благодаря высокой облиственности и интенсивному отрастанию после укосов культура ценится как источник сочного и сухого корма в системе зелёного конвейера [71, 108].

Одним из важных агрономических достоинств суданской травы является её способность выдерживать выпас и выгул скота (при условии достаточной влагообеспеченности), что делает её перспективной для пастбищного использования в регионах с неустойчивым увлажнением. При этом культура сочетает две хозяйственно ценные черты: с одной стороны, она хорошо переносит засушливые периоды, с другой – положительно реагирует на дополнительное увлажнение [8, 151, 184].

Основная масса корней суданской травы сосредоточена и находится в метровой толще почвогрунта. Активный слой, глубиной 0,7-0,9 м, принимают в зависимости от характера почв [13].

Ключевым условием, определяющим сроки сева суданской травы, является температурный режим почвы. Как отмечается в работах [11, 47], посев следует начинать только после того, как почва на глубине заделки семян (3–5 см) устойчиво прогреется до 10...14 °С. Более ранние сроки сева в недостаточно прогретую почву приводят к снижению полевой всхожести и изреживанию всходов, особенно на суглинистых почвах восточной части Беларуси, где весеннее прогревание происходит медленнее по сравнению с лёгкими супесчаными разностями [71, 108].

Выбор способа посева зависит от целевого назначения культуры. При возделывании суданской травы на зелёную массу и сено чаще применяют рядовой способ (междурядье 15–20 см), обеспечивающий более равномерное распределение растений и высокую продуктивность зелёной массы. Для семеноводческих целей и при возделывании на зерно используют широкорядный способ (междурядье 45–70 см), который создаёт лучшие условия для формирования и созревания семян [71, 108]. Агротехническими нормативами для условий Беларуси рекомендуется рядовой сев с нормой высева 3,0–3,5 млн всхожих семян на 1 га при глубине заделки 3–4 см на связных почвах и 4–5 см на супесчаных [28, 108].

Оптимальная температура прорастания семян 20–30°C [34].

Динамика отрастания суданской травы зависит от ряда причин: времени проведения основного укоса, высоты среза и т.д. [38, 43, 75].

Среди метеорологических факторов, лимитирующих продуктивность суданской травы, ведущая роль принадлежит двум показателям – количеству атмосферных осадков и температурному режиму в период вегетации. Их совместное действие определяет не только продолжительность межфазных периодов, но и интенсивность нарастания биомассы. Особенно чувствительной к увлажнению культура оказывается на начальных этапах развития: по данным Ковтуновой Н.А. с соавторами [65, 66], максимальный вклад в формирование урожая зелёной массы вносят осадки, выпавшие в фазу всходов. Количественная оценка этой зависимости показывает, что увеличение суммы осадков на 1 мм в указанный период обеспечивает прирост урожайности в среднем на 0,14 т/га.

При соблюдении технологических норм выращивания суданская трава способна формировать до 500–600 ц/га зеленой массы, 125–135 ц/га сена [90].

По итогам исследований Н.В. Милёхина, средняя урожайность суданской травы раннеспелого сорта Кинельская 100 в первый укос, составила 257 ц/га, за второй укос 130 ц/га [95].

В Государственный реестр сортов и древесно-кустарниковых пород Республики Беларусь, внесены 3 сорта суданской травы, это Синельниковская,

Сенокосная 88, Сочностебельная 18. А также районирован с 2012 года по республике такой сорт суданской травы как Пружанская, Брестской ОСХОС [28]. Такие сорта как «Синельниковская» и «Сенокосная 88», сочетают высокую урожайность с комплексной устойчивостью к экстремальным факторам среды при существующем уровне агротехники. Результаты сортоиспытания, проведённого на Гомельской областной сельскохозяйственной опытной станции, свидетельствуют о высоком продуктивном потенциале суданской травы в условиях юго-восточной части Беларуси. При возделывании на зелёную массу урожайность достигла 680 ц/га, при этом сбор сухого вещества составил 149 ц/га, а выход кормовых единиц – 136 ц/га [28]. Эти показатели значительно превышают средние значения по республике и подтверждают возможность получения полноценного кормового сырья при соблюдении агротехнических требований.

Вместе с тем, как показывают данные Лепельской сортоиспытательной станции, продуктивность культуры существенно зависит от почвенных условий. На супесчаных почвах с невысоким естественным плодородием урожайность сухого вещества снижается до 91 ц/га, а сбор семян – до 8,4 ц/га [28]. Такое снижение объясняется, по-видимому, недостаточной влагоудерживающей способностью лёгких почв и ограниченным содержанием элементов минерального питания.

Для условий восточной части Беларуси, где преобладают дерново-подзолистые суглинистые почвы (занимающие, по данным [127], до 55 % пашни Могилёвской области), эти данные имеют ориентирующее значение: с одной стороны, потенциал культуры на связных почвах сопоставим с результатами Гомельской ОСХОС, с другой – требует компенсации ограниченного плодородия внесением удобрений и поддержанием оптимального водного режима.

Максимальная урожайность составила, в Мостовском районе Гродненской области, и получена при посеве в третьей декаде мая. При посеве семян в непрогретую почву наблюдалось резкое снижение урожайности зелёной массы и семян суданской травы. Практический опыт возделывания суданской травы в хозяйствах Гродненской области подтверждает значимость соблюдения

оптимальных сроков сева. Как отмечается в работе [72], длительная задержка с проведением посевных работ на кормовых угодьях Кореличского района приводила к заметному снижению урожайности зелёной массы, что указывает на высокую чувствительность культуры к срокам её высева даже в условиях относительно благоприятного западного региона республики.

Вместе с тем обобщённые результаты исследований, выполненных Т.А. Анохиной, С.А. Корзун и Н.В. Тымицкой [10, 72, 171], позволяют сделать обоснованный вывод о принципиальной возможности и хозяйственной целесообразности возделывания суданской травы на территории Гродненской области. Авторы связывают этот вывод с комплексом факторов: достаточной теплообеспеченностью региона, приемлемыми агрохимическими показателями почв и положительной отзывчивостью культуры на агротехнические приёмы. Однако, как следует из приведённых данных, реализация этого потенциала возможна лишь при строгом соблюдении технологических регламентов, в первую очередь – сроков сева и режимов увлажнения.

Для условий восточной части Беларуси, характеризующихся более континентальным климатом и меньшим количеством осадков по сравнению с Гродненской областью, проблема оптимизации сроков посева и управления водным режимом приобретает ещё большую остроту. Положительный опыт западных регионов может служить ориентиром, но требует адаптации с учётом местных почвенно-климатических особенностей.

Суданская трава выносит из почвы большое количество питательных веществ, особенно азота. Хорошо отзывается на органические и минеральные удобрения, в особенности азотные [67, 146]. Из минеральных удобрений достаточно хорошие результаты дают внесение таких веществ как сульфата аммония и аммиачной селитры, а также фосфорные и калийные удобрения. Средние нормы внесения минеральных удобрений по действующему веществу составили N_{45-50} ; P_{30-45} ; K_{30-45} кг/га [76]. Опыт возделывания суданской травы в засушливых условиях юга Российской Федерации обобщён в работе [128], где представлены результаты многолетних полевых экспериментов. Согласно этим

данным, при недостаточном естественном увлажнении культура формирует в среднем два полноценных укоса зелёной массы с общей урожайностью 83,4 т/га. В пересчёте на стандартные показатели кормовой ценности это соответствует 13,8 т/га сена, а сбор семян при семеноводческом направлении использования варьирует в пределах 1,79...2,54 т/га в зависимости от погодных условий и агротехнических приёмов.

Приведённые показатели свидетельствуют о высоком адаптационном потенциале суданской травы: даже в регионах с дефицитом влаги она способна обеспечивать устойчивую продуктивность при условии соблюдения технологических регламентов. Особый интерес представляют данные по урожайности семян — диапазон 1,79...2,54 т/га указывает на существенную вариабельность этого показателя, что требует дифференцированного подхода к выбору сортов и режимов орошения при семеноводческом использовании.

Для восточной части Беларуси, где засушливые периоды (по данным раздела 2.5) повторяются с обеспеченностью до 70 %, эти результаты имеют ориентирующее значение. Однако следует учитывать, что почвенно-климатические условия юга России (чернозёмы, более высокие суммы активных температур) отличаются от дерново-подзолистых суглинков восточной Беларуси. Поэтому прямое перенесение указанных показателей урожайности без корректировки режимов орошения и минерального питания неправомерно, что подчёркивает необходимость проведения собственных зональных исследований, результаты которых представлены в главах 3 и 6 настоящей работы.

Влияние сроков посева и укосов на продуктивность суданской травы изучалось в условиях юго-западной части Беларуси [166, 181]. Авторы этих исследований установили, что урожайность культуры существенно варьирует по годам, и основная причина этого — погодные условия в конкретные вегетационные сезоны. При этом в качестве главного лимитирующего фактора выделен температурный режим: сроки наступления фаз развития и темпы нарастания биомассы напрямую зависят от суммы активных температур.

Для восточной части Беларуси, где весеннее прогревание почвы происходит медленнее, чем в юго-западных регионах, эти рекомендации требуют корректировки с учётом местных температурных условий. Как показано в разделе 2.4, в отдельные годы (например, 2021–2022) сумма активных температур в первой декаде мая была ниже среднеголетних значений, что смещало оптимальные сроки сева на более поздние даты. Этот факт должен учитываться при разработке зональных рекомендаций по возделыванию суданской травы в условиях восточной части Беларуси.

Высокопродуктивное возделывание суданской травы в чистом виде и в смесях, особенно с пелюшкой и викой яровой, подтверждено результатами исследований, приведенных в [164].

Согласно исследованиям, М.Б. Наседкина, отмечено, что суданскую траву необходимо высевать, когда почва прогреется до температуры 12-18⁰С, а почвенной влаги ещё достаточно до появления всходов [103]. Для условий юго-востока Западной Сибири Российской Федерации, оптимальный срок сева составляет 20 мая. Кроме этого исследовалась урожайность смеси суданки с кукурузой с различным междурядьем.

Для южной части Восточной Сибири Российской Федерации, полевая всхожесть семян суданской травы в исследованиях А.Г. Кушнарёва, Н.Б. Мардваева, значительно варьировала по срокам посева [79]. Она была наименьшей при посеве 20 мая (в среднем 48%) и 10 июня (56%). При посеве 30 мая, 20 июня и 20 июля всхожесть повысилась до 60 – 64%. Но наивысших показателей (68 и 67%) она достигала при посеве, соответственно, 30 июня и 10 июля, что объясняется, главным образом, сочетанием хорошей теплообеспеченностью с периодом начала выпадения летних осадков.

В условиях центральной Европейской части России также проводились исследования, направленные на оценку сортового потенциала суданской травы при возделывании на зелёный корм [78]. Авторами работы выполнена сравнительная характеристика продуктивности районированных сортов, что позволило выявить наиболее перспективные из них для регионов с неустойчивым увлажнением. Эти

данные представляют интерес и для Беларуси, поскольку климатические условия центра России и восточной части республики имеют ряд сходных черт (континентальность, периодические засухи), однако требуют проверки на местных сортах и почвах.

Что касается севооборотных аспектов, то суданская трава характеризуется малой требовательностью к предшественникам, что является её важным агротехническим преимуществом. Согласно рекомендациям [71, 108], лучшими предшественниками для неё служат озимые и яровые зерновые культуры, а также зернобобовые (горох, вика, пелюшка), которые обогащают почву азотом и улучшают фитосанитарное состояние поля. Допустимым предшественником признаётся кукуруза, однако её использование требует дополнительного внесения азотных удобрений для компенсации выноса питательных элементов предшествующей культурой.

Для условий восточной части Беларуси, где в структуре севооборотов значительную долю занимают зерновые (озимая пшеница, ячмень, овёс), указанные рекомендации вполне применимы. Вместе с тем, как показано в работах [71, 108], на дерново-подзолистых суглинистых почвах с невысоким содержанием гумуса (в наших опытах – 1,68 %) выбор предшественника и система удобрений оказывают более существенное влияние на урожайность, чем на чернозёмах, что требует более тщательного планирования севооборотов при внедрении орошения.

При возделывании суданской травы рекомендуют вносить минеральные удобрения весной под культивацию. Для дерново-подзолистых почв рекомендуемая норма фосфорных удобрений составляет 45...60 кг/га д.в., калийных 60...120 кг/га д.в.

Система удобрения суданской травы дифференцируется в зависимости от целевого назначения посева и типа почв. При возделывании на зелёную массу с уборкой в фазу вымётывания метёлки рекомендуется внесение азотных удобрений в дозе 60...90 кг/га д.в.; для семенных посевов доза азота увеличивается до 90 кг/га д.в. [71, 108]. Исключение составляют торфяно-болотные почвы, где азотные удобрения не вносятся ввиду высокого естественного содержания органического

азота в торфе. Фосфорные и калийные удобрения вносят в дозах, соответствующих обеспеченности почвы подвижными формами этих элементов (таблица 2.3).

Нормы высева также варьируют в зависимости от назначения: при рядовом способе посева на зелёный корм оптимальной считается норма 3,0 млн всхожих семян на 1 га, для семенных целей и широкорядных посевов – 2,0...2,5 млн/га [71, 108].

Помимо прямого влияния на продуктивность, минеральные удобрения способствуют формированию более мощного листового аппарата, который, в свою очередь, затеняет поверхность почвы и снижает непродуктивные потери влаги на испарение. Как показано в работе [68], оптимизация минерального питания позволяет уменьшить коэффициент транспирации на 30...40 %, что особенно важно в условиях ограниченных водных ресурсов.

Агрохимические требования к почвам при возделывании суданской травы согласно [71] включают: реакцию среды (рН) не ниже 5,6, содержание гумуса не менее 1,3 %, а также обеспеченность подвижным фосфором и обменным калием на уровне 100...150 мг/кг почвы (по Кирсанову). Почва опытного участка (таблица 2.3) полностью соответствует этим требованиям, что подтверждает корректность выбора места для закладки полевых опытов.

Защита посевов от сорной растительности строится с учётом видового состава сорняков и фазы их развития. Против многолетних корнеотпрысковых сорняков (осот, вьюнок) рекомендуется осенняя обработка глифосатсодержащим препаратом Глифоген по вегетирующим растениям после уборки предшественника. Для борьбы с однолетними злаковыми и двудольными сорняками применяют почвенный гербицид Примэкстра Голд TZ; по вегетирующим сорнякам в фазе 4–6 листьев используют препараты из Государственного реестра средств защиты растений, разрешённых к применению на территории Республики Беларусь [71, 108]. Эти мероприятия обеспечивают чистоту посевов в начальный, наиболее ответственный период развития культуры.

Сроки сева в Беларуси варьируют по областям в пределах от первой половины мая до конца мая, что обусловлено различиями в скорости прогревания

почвы. Для восточной части республики, где весна наступает позднее, чем в западных и южных регионах, оптимальным является третья декада мая (что и было реализовано в наших опытах). При выборе конкретной даты следует ориентироваться на фактическое прогревание почвы на глубине заделки семян до 10...14 °С.

При выращивании на зелёную массу используют сплошную рядовую зерновую сеялку, при использовании для зелёного конвейера, а также на зерно – высевают широкоявно с междурядьем 45 см. глубина заделки семян при этом колеблется от 3...4 см на связных почвах, до 4...5 см на легкосуглинистых и супесчаных почвах.

При обработке почвы рекомендуют следующие рабочие операции: лущение почвы, её вспашка, чизелевание, культивация, боронование, прикатывание.

При использовании суданской травы в виде зелёного корма и на силос её скашивают в фазе вымётывания метёлки, применяя комбайны типа КСК-100А, Полесье. При выращивании на семена рекомендуется проводить уборку урожая отдельным способом, когда достигнута полная спелость семян главной метёлки, с использованием комбайнов типа Дон-1500, КЗР-10, КЗР-7. В технологии предусмотрена также очистка семян, их сушка до влажности примерно 15 % [71, 108].

1.2 Требования к водному режиму и опыт орошения суданской травы.

Многочисленные исследования, выполненные в различных почвенно-климатических зонах, единодушно свидетельствуют о высокой отзывчивости суданской травы на орошение. При этом оптимизация водного режима рассматривается как ключевой фактор, определяющий не только уровень урожайности, но и эффективность использования минеральных удобрений, а также качество кормовой массы.

Обобщение результатов полевых экспериментов позволяет выделить несколько уровней предполивной влажности, обеспечивающих различные целевые

показатели продуктивности. Так, в исследованиях, проведённых на юге Российской Федерации (Волгоградская область) [34], установлено, что для получения 30...35 т/га зелёной массы без применения удобрений достаточно поддерживать влажность активного слоя почвы на уровне не ниже 70 % НВ. При внесении минеральных удобрений в дозах $N_{170-230} P_{70-90} K_{60-80}$ тот же порог влажности обеспечивает увеличение урожайности до 50...60 т/га. Для достижения максимальной продуктивности (70...72 т/га) требуется повышение порога увлажнения до 80 % НВ и внесение повышенных доз удобрений ($N_{290} P_{110} K_{100}$).

Аналогичные закономерности выявлены в работах Н.Н. Дубенка и Э.Б. Дедовой [38, 43] для аридных условий Республики Калмыкии. Авторы отмечают, что повышение предполивной влажности с 65–70 до 75–80 % НВ положительно сказывается на линейном приросте растений (от 12 до 30 см) и способствует сохранению питательных элементов в почве после вегетации культуры.

Исследования И.П. Кружилина [75] показали, что для получения 60...100 т/га зелёной массы в одновидовых и смешанных посевах необходимо поддерживать влажность активного слоя почвы в течение всей вегетации не ниже 75...80 % НВ. При этом автор рекомендует чередовать поливные нормы, рассчитанные на глубину промачивания 0,4 и 0,8 м, что позволяет рационально распределять влагу по профилю и снижать потери на глубинную фильтрацию.

В Саратовской области [32] изучалось влияние порогов влажности 70, 75 и 80 % НВ на продуктивность суданской травы и инфильтрационные потери. Оптимальным признан режим с поддержанием нижнего порога 75 % НВ в слое 0–0,8 м, обеспечиваемый поливными нормами 650 м³/га.

Детальный анализ влияния сочетания режимов орошения и уровней минерального питания выполнен Т.Н. Дроновой и Н.И. Бурцевой [35]. В трёхфакторных опытах (пороги влажности 60, 70 и 80 % НВ; четыре уровня питания, рассчитанные на урожайность 32, 48, 64 и 80 т/га) установлено, что максимальная продуктивность (72...78 т/га зелёной массы) достигается при 80 %-ном пороге увлажнения и внесении расчётных доз удобрений $N_{230-290} P_{90-110} K_{80-100}$.

При снижении порога до 70 % НВ урожайность составляет 50,5...64,3 т/га, а на фоне естественного плодородия – 26,8...43,6 т/га.

Э.Б. Дедова [29] дополнительно изучила влияние норм высева на фотосинтетическую деятельность суданской травы при орошении (предполивная влажность 65...70 % НВ). Установлено, что оптимальная структура посева формируется при норме высева 4,5...5 млн семян на 1 га, что обеспечивает активизацию фотосинтеза и повышение урожайности на 30...36 % по сравнению с нормой 3,5...4 млн/га.

Н.Н. Хожанов [168] предложил экологически обоснованные режимы орошения с поддержанием влажности расчётного слоя (0–1,0 м) на уровне 70, 75 и 80 % НВ, используя зависимости водопотребления от средней влажности почвы в межполивной период.

Как показано в работах [22, 13], до 85 % корневой системы суданской травы сосредоточено в слое почвы 0...70 см, что определяет этот горизонт как основной при расчёте поливных норм. Некоторые исследователи [13] рекомендуют расширять расчётный слой до 0,9 м, однако большинство авторов сходятся на том, что для большинства почвенных условий оптимальным является слой 0,4...0,6 м [32, 75].

Важной физиологической особенностью культуры является снижение транспирационных потерь при оптимизации минерального питания. Согласно данным, приведённым в [119], среднесуточный прирост растений при влажности почвы не ниже 70 % НВ составляет в среднем 3,3 см, а урожайность зелёной массы колеблется в пределах 58,6 т/га.

Н.Н. Дубенок и А.П. Несват [39] изучали эффективность дневных и ночных поливов суданской травы с целью сокращения потерь оросительной воды на испарение и снос ветром. Схема опыта включала четыре режима орошения (контроль, 70–75, 75–80 и 80–85 % НВ) на разных фонах минерального питания. Авторы показали, что ночные поливы позволяют снизить непродуктивные потери влаги и повысить коэффициент полезного использования оросительной воды.

В исследованиях К.В. Коледы [71] определены инфильтрационные потери поливной воды при различных режимах орошения кукурузы и суданской травы с использованием дождевальной машины «Фрегат». Получены зависимости, связывающие глубину промачивания с интенсивностью дождя и продолжительностью полива.

Г.С. Донгузов [32] в опытах на трёх вариантах поливного режима (поддержание влажности 70–100 % НВ в слое 0,6 м; дифференцированное увлажнение слоев 0,4 и 0,6 м; изменение границ влажности по фазам развития) показал, что наиболее эффективным является дифференцированный подход, учитывающий фазовую потребность культуры во влаге.

Т.Н. Дронова [34] установила, что для получения высоких урожаев суданской травы на юге России требуется от 4 до 7 поливов с оросительной нормой 2400...4200 м³/га.

В условиях юго-востока Восточно-Европейской равнины (Саратовская область, Республика Калмыкия, Оренбургская область) орошение суданской травы преимущественно осуществляется дождевальными машинами ДКШ-64 «Волжанка» и другими широкозахватными системами [39].

Проведённый анализ литературных источников позволяет сделать следующие обобщения:

1. Оптимальный диапазон влажности для суданской травы составляет 70...80 % НВ, причём повышение порога с 70 до 80 % НВ обеспечивает прибавку урожайности, но требует увеличения оросительных норм и кратности поливов.

2. Расчётный слой почвы в большинстве исследований принимается в пределах 0,4...0,8 м, однако для дерново-подзолистых суглинистых почв с неглубоким гумусовым горизонтом этот параметр требует уточнения.

3. Оросительные нормы варьируют в широком диапазоне (2400...4200 м³/га) в зависимости от зоны и режима, но для условий Беларуси такие данные отсутствуют.

4. Прямые исследования орошения суданской травы в Беларуси не проводились, а имеющиеся рекомендации экстраполированы из опыта других

регионов без учёта зональных особенностей дерново-подзолистых почв и климата восточной части республики.

5. Технические средства полива, применяемые в Беларуси (шланговые дождеватели типа Bauer Rainstar T-61, УД-2500, ПДМ-2500), ранее не испытывались на культуре суданской травы, и их влияние на водный режим почвы и формирование поверхностного стока не оценивалось.

Таким образом, несмотря на обширный накопленный опыт, для условий восточной Беларуси остаются неизученными: зональные биоклиматические коэффициенты водопотребления; оптимальные пороги влажности для дерново-подзолистых суглинистых почв; параметры дождевания, обеспечивающие минимизацию стока и эрозионных процессов. Это определяет необходимость проведения собственных полевых исследований, результаты которых изложены в последующих главах настоящей работы.

1.3 Состояние изученности поверхностного стока при искусственном дождевании

На основании собственных исследований Т.Д. Лагун излагает то, что оценка возможного поверхностного стока может быть осуществлена путём сравнения впитывающей способности почвы со структурой дождя, основными характеристиками которого являются его интенсивность и продолжительность [80].

В результате выполненных расчётов автором были получены кривые редукции, которые были использованы для установления возможного поверхностного слоя стока в зависимости от скорости впитывания воды почвой, которую автор рекомендует определять методом искусственного дождевания.

Сделанный автором анализ говорит о том, что в условиях северо-восточной зоны Белоруссии на почвах с интенсивностью впитывания воды не менее 0,1 мм/мин суточные осадки до 11 мм не вызывают поверхностного стока, а по мере дальнейшего увеличения слоя осадков прямо пропорционально увеличивается и

слой дождевого стока. Вероятность появления стока уменьшается с увеличением водопроницаемости почвы и уменьшения слоя суточных осадков [20].

И.П. Сухарев изучал влияния различных приёмов обработки чернозёмных почв на величину суммарного стока и максимальных расходов ливневых вод, которое проводилось на полях Института имени В.В. Докучаева в Каменной степи [163].

Экспериментальная часть исследований выполнялась на специализированных стоковых площадках, заложенных на обыкновенном чернозёме, подстилаемом покровными суглинками. Размер площадок составлял $15 \times 3,6$ м, уклон поверхности варьировал в пределах 0,008...0,012. Для предотвращения поступления воды с прилегающей территории по периметру площадок устраивались земляные валики, а в нижней части каждого участка монтировались водосбросные лотки, обеспечивающие отвод стекающей воды в мерные ёмкости для последующего количественного учёта.

Искусственный дождь заданной интенсивности создавался с помощью специализированной дождевальной установки, оснащённой насадками КДУ-41. В ходе экспериментов воспроизводились три градации интенсивности дождя – 0,9; 1,8 и 2,7 мм/мин, что позволило охватить диапазон от слабого до интенсивного ливня, характерного для летних осадков в регионе исследований.

Продолжительность дождевания в первой серии опытов составляла 90 минут без предварительного увлажнения поверхности. Общий слой выпавшей воды при разных интенсивностях составил соответственно 81, 162 и 243 мм. С момента появления стока его величина измерялась объёмным способом с периодичностью 5–7 минут, что позволило получить детальные хронологические зависимости формирования стока.

Через 4–6 часов после завершения первой серии опыты повторялись при той же интенсивности, но на предварительно увлажнённой поверхности, что моделировало условия повторных осадков и позволяло оценить влияние начальной влажности почвы на стокообразование.

В первой группе опытов дождь без предварительного увлажнения поверхности площадки подавался в течение 90 мин. Общее количество дождя при интенсивности 0,9; 1,8 и 2,7 мм/мин составило соответственно 81; 162 и 243 мм.

С началом стока с площадки его величина измерялась объёмным способом через каждые 5-7 мин.

Из этой группы опытов автор делает вывод, что в летнее время на чернозёмных почвах при ливневых дождях большой интенсивности сток может наблюдаться только при выпадении значительного количества дождя – до 50-75 мм. На некоторых же полях (зяблевая поперечная вспашка) даже слой в 200 мм дождевой воды полностью впитывался в почву, а сток отсутствовал.

Спустя 4-6 часов после первых опытов проводилась вторая группа опытов с той же интенсивностью дождя и продолжительностью, но с предварительным увлажнением поверхности площадок.

На основе проведённых экспериментов автор [163] сформулировал две ключевые закономерности формирования стока на чернозёмных почвах.

Первая закономерность касается условий первичного выпадения осадков: на сухой поверхности сток возникает лишь при высокой интенсивности дождя, когда скорость поступления воды превышает текущую впитывающую способность почвы. Это объясняется тем, что в начальный период ненасыщенный почвенный профиль обладает высоким сорбционным потенциалом и способен поглощать воду даже при значительных интенсивностях осадков.

Вторая закономерность проявляется при повторных дождях, выпадающих на предварительно увлажнённую почву. В этом случае верхние горизонты уже насыщены влагой, а под действием капель дождя поверхность заплывает, формируя уплотнённую корку с низкой водопроницаемостью. В результате сток возникает уже при выпадении всего 10...20 мм осадков, что существенно ниже пороговых значений для сухой почвы. При этом, как отмечает автор, с увеличением общего слоя осадков относительная доля стока возрастает, что указывает на прогрессирующее снижение инфильтрационной способности в ходе затяжных дождей.

Выявленные зависимости имеют прямое отношение к вопросам орошения дождеванием: при поливе на предварительно увлажнённых почвах (что характерно для регулярных оросительных режимов) риск образования поверхностного стока и эрозионных потерь возрастает многократно. Это обстоятельство должно учитываться при назначении поливных норм и выборе технических средств дождевания, особенно на почвах с низкой водопроницаемостью.

В исследованиях Г.П. Сурмача [158], посвящённых изучению водопроницаемости, стока и смыва на обыкновенных чернозёмах, использовалась специализированная дождевальная установка лабораторно-полевого типа. Основные технические характеристики прибора включали: площадь дождевания – $0,6 \text{ м}^2$ ($1,0 \times 0,6 \text{ м}$); крупность капель – $2,5 \dots 3,5 \text{ мм}$; высоту падения капель – $1,5 \text{ м}$ (при этом конечная скорость составляла около 540 см/с^2 , что обеспечивало динамическое воздействие, близкое к естественному).

Конструктивно установка представляла собой сито с загнутыми кверху краями (размером $1,0 \times 0,6 \text{ м}$), изготовленное из оцинкованного листового металла. По всей площади сита с шагом 4 см (как по длине, так и по ширине) были просверлены отверстия диаметром $2,8 \text{ мм}$, в которые вставлялись металлические каплеобразователи диаметром $2,5 \text{ мм}$. Такая конструкция обеспечивала формирование капель с относительно стабильными размерами и их равномерное распределение по площадке. Регулировка интенсивности искусственного дождя осуществлялась простым способом – изменением уровня воды в сите, что позволяло воспроизводить различные режимы осадков в широком диапазоне.

Анализ экспериментальных данных позволил Г.П. Сурмачу сформулировать важные закономерности взаимосвязи интенсивности дождя, водопроницаемости и стока. Установлено, что при прочих равных условиях (однотипный почвенный покров и его состояние) оба показателя – скорость впитывания и величина стока – проявляют однонаправленную реакцию на изменение интенсивности дождя:

– при снижении интенсивности уменьшается как водопроницаемость (из-за меньшего гидродинамического напора), так и сток (поступление воды не превышает впитывающую способность);

– при повышении интенсивности водопроницаемость возрастает (за счёт большего напора), однако одновременно растёт и сток, поскольку скорость подачи воды начинает превышать скорость фильтрации;

– наиболее показательным критерием является коэффициент стока, который при повышении интенсивности увеличивается, свидетельствуя о прогрессирующем снижении доли воды, поглощаемой почвой.

Выявленные закономерности имеют прямое отношение к выбору режимов дождевального орошения. Для почв с ограниченной водопроницаемостью (в том числе для дерново-подзолистых суглинков восточной Беларуси) повышение интенсивности дождя ведёт к росту непродуктивных потерь воды и риску эрозионных процессов. Поэтому при разработке технических средств полива (глава 5) и обосновании режимов орошения (глава 3) мы учитывали необходимость поддержания интенсивности дождя на уровне, не превышающем фактическую впитывающую способность исследуемых почв.

Изучение водопроницаемости и стока методом дождевания также можно найти и в литературе [24]. Автором был сконструирован для этих целей прибор – дождеватель.

W.C. Loudermilk исследовал гидрологическую роль лесной подстилки [191]. Эксперименты по влиянию крутизны склона на смыв почвы и сток исследователь проводил на монолитах – ящики с насыпными почвами площадью в $0,93\text{ м}^2$ ($1,53 \times 0,61$ м), подвергая их искусственному дождеванию с различным режимом осадков.

Прибором Г.П. Сурмача дождь создавался при помощи насадок РДП-3, крупность капель варьировала от 0,2-0,3 мм до 1,5 мм, а высота их падения составляла 1,3-1,5 м. Размер покрываемой дождём площади равнялся 8 м^2 ($4,6 \times 1,7$ м) [159]. Также проводилось дождевание, используя насадки КДУ-41. Им применялись площадки размером в 54 м^2 ($15 \times 3,6$ м), а также в 36 м^2 ($10 \times 3,6$ м) и 18 м^2 ($5 \times 3,6$ м).

В работе [23] представлены результаты комплексных исследований склонового стока и инфильтрационной способности почв, выполненных на

полевых стоковых площадках. Автором изучены количественные характеристики стокообразования в зависимости от комплекса факторов: интенсивности осадков, начальной влажности почвы, уклона поверхности и продолжительности дождевания.

Для воспроизведения заданных режимов увлажнения в полевых условиях использовалась передвижная дождевальная установка, позволяющая моделировать искусственный дождь с различной интенсивностью – от слабой до ливневой. Применение такого оборудования даёт возможность стандартизировать условия эксперимента и получать сопоставимые данные о водопроницаемости и стоке при разных начальных состояниях поверхности.

Методический подход, реализованный в [23], во многом схож с тем, который был применён в наших исследованиях (см. раздел 4.2). В обоих случаях используется принцип искусственного дождевания на ограниченных площадках с измерением стока объёмным способом. Однако в отличие от работы [23], где объектом служили преимущественно естественные склоны, в наших опытах акцент сделан на посевах суданской травы и учёте защитной роли листового аппарата в перехвате дождевых капель и снижении стока.

Проводились исследования по изучению особенностей формирования дождевого склонового стока под влиянием различных стокоформирующих факторов. Было установлено, что основные факторы, влияющие на ливневой сток – агрофон и предполивная влажность почвогрунта [12].

Из своих наблюдений авторы делают вывод, что с увеличением влажности до значений НВ и более различия в условиях формирования поверхностного стока сглаживаются, причём сток на пахоте резко возрастает и может при прочих равных условиях превышать сток с других угодий.

В многолетних исследованиях Н.Н. Дубенка [37] разработаны теоретические основы и практические методы расчёта водосберегающих режимов орошения кормовых культур на землях со сложным рельефом Центрального района России. В рамках этих работ автором установлен и теоретически обоснован ряд новых

положений, среди которых особый интерес для нашего исследования представляют зависимости, описывающие формирование поверхностного стока при дождевании.

Для количественной оценки величины поверхностного стока предложена эмпирическая формула (1.1), учитывающая совокупное влияние нескольких факторов:

$$S = (0,07 x + 16,3 y + 0,5) b, \text{ мм} \quad (1.1)$$

где:

S – слой поверхностного стока, мм;

x – влажность почвы, %;

y – интенсивность дождевания, мм/мин;

b – поправочный коэффициент, учитывающий площадь листовой поверхности растений ($b = 0,82...0,91$), причём меньшие значения соответствуют большей облиственности.

Формула (1.1) получена для следующих диапазонов изменения факторов: уклон участка $I = 0,04...0,05$, влажность почвы $x = 16...24$ %, интенсивность дождевания $y = 0,2...0,5$ мм/мин [38]. В пределах этих границ расчётная погрешность не превышает допустимых значений для инженерных расчётов.

Для оценки гидродинамических характеристик стекающего потока Н.Н. Дубенком также предложены эмпирические зависимости скорости движения воды (V , м/с) от уклона участка (I) при фиксированных значениях интенсивности дождевания:

– при $y = 0,41$ мм/мин:

$$V = 2,44 I^{0,5}, \text{ м/с} \quad (1.2)$$

– при $y = 0,30$ мм/мин:

$$V = 1,7 I^{0,5}, \text{ м/с} \quad (1.3)$$

Как следует из приведённых зависимостей, снижение интенсивности дождя с 0,41 до 0,30 мм/мин приводит к уменьшению скорости стекания примерно в 1,4 раза при одинаковом уклоне, что подтверждает целесообразность применения пониженных интенсивностей для минимизации стока и эрозионных процессов.

В наших исследованиях (глава 4) выполнена проверка применимости подобных зависимостей для дерново-подзолистых суглинистых почв восточной Беларуси. Полученные экспериментальные данные показали, что структура формулы (1.2) сохраняется, однако численные значения коэффициентов требуют уточнения для наших почвенных условий (см. раздел 4.1).

Помимо изучения поверхностного стока при естественных осадках, автор проводил исследования этого элемента водного баланса методом искусственного дождевания [18]. Дождевание проводилось при разной продолжительности дождя и при разной его интенсивности.

Исследования автора показали, что в развитии поверхностного стока большую роль играет влажность почвы в момент выпадения осадков.

Выводы

1. Суданская трава отзывчива на увлажнение. Критически зависит от температуры почвы и воздуха. Оптимальная температура для прорастания семян – 20-30°C, минимальная для посева – +10...+14°C. Посев в непрогретую почву ведёт к резкому снижению урожайности.

Для дерново-подзолистых почв рекомендуются дозы удобрений: N₆₀₋₉₀, P₄₅₋₆₀, K₆₀₋₁₂₀ кг/га (при возделывании на зелёную массу). Лучшие предшественники: озимые и яровые зерновые, зернобобовые культуры. Допустимый предшественник: кукуруза. Оптимальные агрохимические показатели почв: pH ≥ 5,6; гумус ≥ 1,3 %; подвижный фосфор и калий – 100...150 мг/кг почвы. В Государственный реестр Республики Беларусь включены сорта: Синельниковская, Сенокосная 88, Сочностебельная 18, Пружанская.

2. Основная масса корней (до 85%) сосредоточена в слое почвы 0...0,6 м. Для эффективного орошения рекомендуется поддерживать влажность именно в этом корнеобитаемом слое на уровне не ниже 75...80 % НВ.

Для условий Беларуси прямые исследования орошения суданской травы отсутствуют, однако общие закономерности отзывчивости культуры на увлажнение позволяют экстраполировать положительный опыт.

3. Исследования поверхностного стока при искусственном дождевании базируются на сравнении интенсивности дождя и впитывающей способности почвы. Изучение поверхностного стока при искусственном дождевании базируется на обширном экспериментальном материале, полученном с использованием специализированных дождевальных установок и стоковых площадок. Установлены основные закономерности формирования стока в зависимости от интенсивности дождя, влажности почвы, уклона, агрофона и наличия растительности. Разработаны расчётные зависимости (Н.Н. Дубенок), позволяющие прогнозировать слой и скорость стока при различных условиях. Эти исследования создают научную основу для проектирования экологически безопасных режимов орошения, исключая эрозионные процессы и непродуктивные потери оросительной воды.

2. МАТЕРИАЛЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Природно-климатические условия восточной части Беларуси

Восточная часть Беларуси находится в пределах Оршанско-Могилевской равнины (часть Витебской и Могилевской областей). Южной ее границей является условная линия, соединяющая такие города как Белыничи, Могилев и Краснополье (Могилевская область). Существенными природными признаками этой территории являются: 1) широкое распространение лёссов и лёссовидных почв; 2) незначительное количество озер; 3) низкая заболоченность территории. В пределах восточной части преобладают абсолютные высотные отметки от 150 до 200 м.

Наиболее высокая часть это – Горецко-Мстиславская возвышенность – характеризуется абсолютными высотами около 250 м.

Восточная часть Беларуси (рисунок 2.1) занимает территорию, на которой расположено 19 районов двух областей, Могилёвской и Витебской [96]. Эта зона Республики Беларусь одна из значительных в сфере агропромышленного комплекса страны.

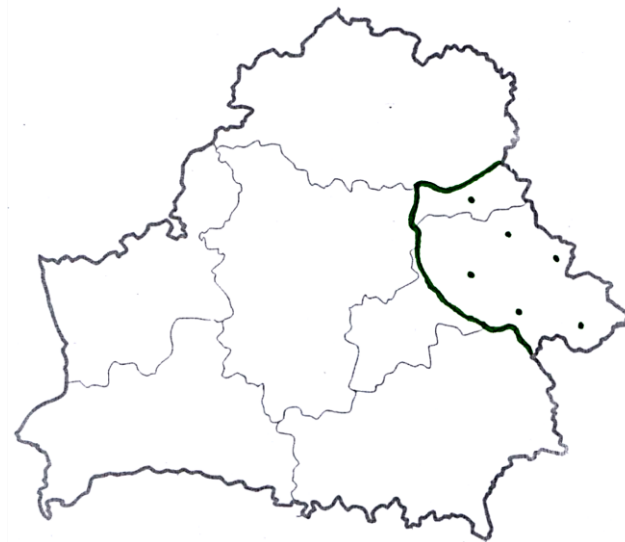


Рисунок 2.1 – Схема Республики Беларусь с выделенной восточной частью и указанием на ней пунктов Государственной сети гидрометеорологических наблюдений

Районы, находящиеся в выделенной восточной части, объединяет общий рельеф, схожий климат, характеристика почвенно-растительного покрова, направленность физико-географических процессов.

Здесь проживает чуть более 5 % населения республики, и на восточную часть приходится примерно 12 % территории Республики Беларусь.

Общая площадь земель в восточной части Беларуси составляет 2534,911 тыс. га, в том числе всего сельскохозяйственных земель около 1177,825 тыс. га, пахотных около 862,261 тыс. га, луговых земель 302,926 тыс. га, из них улучшенных луговых земель 152,027 тыс. га. (табл. 2.1) [127].

Таблица 2.1 – Земельные ресурсы восточной части Беларуси, га

Наименование районов, областного подчинения	общая площадь земель	В том числе				
		пахотных земель	земель под постоянными культурами	луговых земель	из них улучшенных луговых	всего сельскохозяйственных земель
Могилёвская область (часть)						
Белыничский	142290	39188	323	10975	4528	50486
Быховский	225871	48418	750	33417	10581	83015
Горецкий	128707	69284	415	13232	5522	82931
Дрибинский	76784	34077	101	6207	3077	40385
Климовичский	154572	42060	650	19547	6308	62308
Костюковичский	148926	32359	277	21995	10599	54631
Краснопольский	122453	16149	221	12649	3226	29019
Кричевский	77684	29448	404	10337	3497	40508
Круглянский	87916	32928	61	11306	8254	44448
Могилевский	190287	85781	2119	16612	7219	104512
Мстиславский	133011	61610	286	22000	10840	83896
Славгородский	132317	29447	406	20212	8064	50971
Хотимский	86255	28155	435	12976	7168	41566
Чаусский	146963	52310	961	17698	8691	70969
Чериковский	102146	22784	117	7761	2682	30662
Шкловский	133133	68160	684	16328	13224	85172
Витебская область (часть)						
Дубровенский	125141	44320	101	19708	15280	64129
Оршанский	170680	70129	1523	16901	13925	88553
Толочинский	149775	55654	945	13065	9342	69664

Одним из путей повышения эффективности инвестируемых средств в мелиорированные земли является их грамотное использование с учётом особенностей почв, рельефа, осушения и искусственного увлажнения.

Средние многолетние метеорологические условия восточной части Беларуси представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Средние многолетние метеорологические показатели по метеостанциям восточной части Беларуси

Наименование метеостанции	Среднегодовая температура воздуха, °C	Средняя температура, °C		Сумма температур за период выше +10 °C, °C	Среднее многолетнее количество осадков, мм	Гидротермический коэффициент	Продолжительность периода с температурой выше +10 °C, сут
		января	июля				
Горки	5,6	-5,9	17,9	2104	652	1,5	143
Костюковичи	6,2	-5,5	18,4	2252	597	1,3	149
Могилёв	6,1	-5,3	18,1	2242	679	1,5	148
Мстиславль	5,7	-5,8	18,1	2235	642	1,5	140
Славгород	6,4	-5,3	18,7	2271	628	1,4	153
Орша	5,8	-5,4	17,9	2141	655	1,5	144

Из анализа таблицы 2.2 можно сделать вывод, что климат в восточной части Беларуси тёплый, умеренно влажный; более континентальный, чем климат других территорий Беларуси [61, 62, 82, 117, 155]. Однако особенностью восточной части Беларуси являются некоторые различия в климатических условиях между крайними районами в северном и южном направлениях. По мере продвижения с севера на юг, наблюдается в определённой степени некоторая закономерность по увеличению среднегодовой температуры воздуха, по сумме температур за период выше +10 °C, уменьшению среднее многолетнего количества осадков и гидротермического коэффициента.

Такие отличия дают основания для искусственного увлажнения сельскохозяйственных угодий в южных районах восточной части Беларуси и регулированию водного режима в направлении осушения в северных районах.

Одной из характерных особенностей восточной части Беларуси является широкое распространение лёссов и лёссовидных пород, залегающих на моренных супесях, суглинках и водноледниковых песках [96]. Это обуславливает значительное разнообразие почвенного покрова, который может быть систематизирован по нескольким группам в зависимости от материнской породы и условий залегания.

На лёссовидных отложениях формируются дерново-палево-подзолистые почвы, которые характеризуются высоким естественным плодородием благодаря значительной мощности гумусового горизонта и благоприятным физико-химическим свойствам. Эти почвы наиболее ценны для сельскохозяйственного использования и в восточной части республики занимают значительные площади.

На моренных супесях развиваются дерново-подзолистые почвы с выраженным белесоватым подзолистым горизонтом. Данный тип является преобладающим как в Беларуси в целом, так и в её северо-восточной части, встречаясь повсеместно на водораздельных пространствах и пологих склонах. Именно этот тип почв (дерново-подзолистый на лёгком мореном суглинке) был выбран для закладки наших полевых опытов, что обеспечивает репрезентативность полученных результатов для типичных условий региона.

В местах неглубокого залегания карбонатных пород формируются перегнойно-карбонатные почвы, отличающиеся повышенным содержанием гумуса и нейтральной реакцией среды. Эти почвы обладают высоким потенциальным плодородием, однако их распространение ограничено локальными участками с близким залеганием известняков.

Кроме того, в восточной части Беларуси значительные площади заняты дерновыми почвами, сформировавшимися на хорошо дренированных участках и обладающими благоприятными агрономическими свойствами. К пониженным элементам рельефа (западины, ложбины стока) приурочены

полугидроморфные и гидроморфные почвенные разности, которые формируются в условиях избыточного увлажнения и часто требуют проведения осушительных мелиораций.

Таким образом, почвенный покров восточной части Беларуси характеризуется значительной неоднородностью, однако преобладающим типом являются дерново-подзолистые суглинистые почвы, что делает выбранный нами опытный участок (дерново-подзолистая слабоподзоленная почва на лёгком моренном суглинке) типичным и репрезентативным для всего региона.

Так в Могилёвской области в составе пашни дерново-подзолистые почвы занимают около 55,2 %, а дерново-подзолистые заболоченные примерно 42,6 %.

По гранулометрическому составу дерново-подзолистые почвы в основном относятся к суглинистым и супесчаным разностям. Так в составе пахотных земель легкосуглинистые почвы в Могилёвской области занимают около 36,4 %, связносупесчаные и рыхлосупесчаные соответственно примерно 24,7 и 27,9 %.

Восточной часть Беларуси относится к числу наиболее распаханых регионов страны. Так, например, в Горецком и Мстиславском районах распаханно около 60 % их территории.

Процессы водной эрозии характерны для холмистого рельефа восточной части Беларуси.

Водная эрозия почв наносит существенный экономический и экологический ущерб, ее последствия приводят к разрушению почвенного покрова и, как следствие, к ухудшению физических, агротехнических и биологических свойств почв.

При окультуривании эродированных дерново-подзолистых почв надо учитывать, что водная эрозия вызывает большие изменения агрофизических и агрономических свойств. При этом надо учитывать, что в восточной части преобладает водная плоскостная эрозия

По данным РУП «Институт почвоведения и агрохимии» на долю Могилёвской области площади земель, подверженных водной эрозии составляют

21,3 %, а это в среднем потеря 160–200 кг/га гумуса (около 10 кг азота, 4–5 кг фосфора и калия, 5–6 – кальция и магния).

Дерново-подзолистые заболоченные почвы формируются в условиях затрудненного поверхностного стока на связных породах и занимают около 62,3 % пашни и около 59,7 % сельскохозяйственных угодий [170, 176].

Потенциалом повышения эффективности данных земель является дифференцированное их использование с учётом их особенностей по типу почвы, рельефа, проведение различных видов мелиораций.

2.2 Характеристика опытного участка

Полевые исследования проводились в период 2020–2022 гг. на базе учебно-опытного комплекса «Тушково-1» Горецкого района Могилёвской области (рисунок 2.2). Выбор участка осуществлялся на основе анализа структуры посевных площадей, картографических материалов и рельефа местности. В результате был выбран участок, расположенный в западной части комплекса, вблизи посёлка «Чарны», с абсолютными высотными отметками 175...180 м над уровнем моря. Уклон поверхности варьировал в пределах 0,003...0,006, что характерно для склоновых земель восточной части Беларуси и позволяет моделировать условия, типичные для эрозионно-опасных агроландшафтов региона.

Источником оросительной воды служит пруд на ручье Безымянном, расположенный в южной части УОК «Тушково-1» на расстоянии около 800 м от опытных делянок. Основные гидрологические характеристики водоёма: площадь зеркала – 12,2 га, полный объём – 202 тыс. м³, полезный объём – 153 тыс. м³. Эти параметры обеспечивают гарантированное водоснабжение оросительной системы в течение вегетационного периода даже в засушливые годы, что подтверждено в ходе трёхлетних экспериментов.

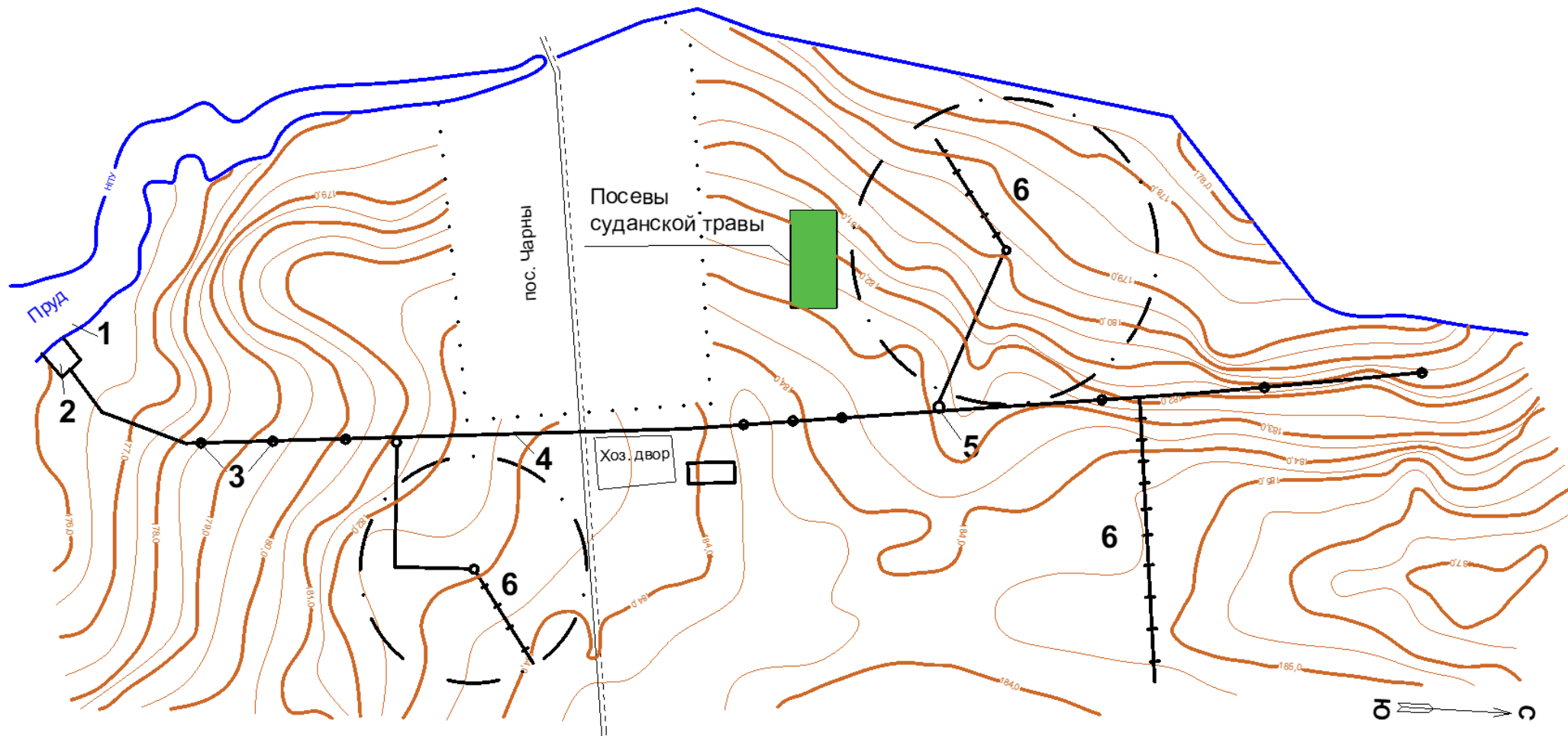


Рисунок 2.2 – Элементы мелиоративной системы: 1 – водоисточник; 2 – насосная станция; 3 – гидранты;
4 – напорный трубопровод; 5 – распределительный колодец; 6 – дождевальная техника

Выбранный участок по своим почвенно-рельефным и гидрологическим характеристикам является репрезентативным для большей части сельскохозяйственных земель восточной Беларуси, что обеспечивает возможность экстраполяции полученных результатов на другие хозяйства региона.

Гранулометрический состав и морфологические признаки почв изучались в полевых условиях с закладкой почвенных разрезов согласно [135]; лабораторные анализы выполнялись в «Лаборатории массовых анализов почвенной экспедиции БГСХА» с последующим уточнением названий генетических горизонтов по методике [118].

Ниже приведено описание почвенного профиля типичного разреза (рис.2.3):

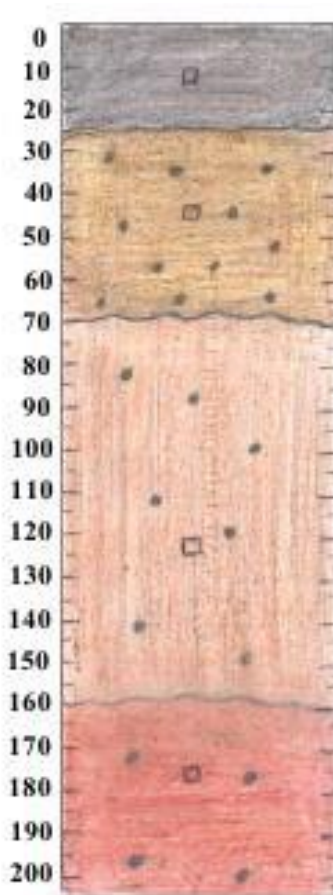


Рисунок 2.3 – Выкопировка рисунка почвенного профиля из полевого журнала

– $A_n(0-25 \text{ см})$ – пахотный горизонт, тёмно-серый, легкий пылеватый суглинок, свежий, комковатой структуры, уплотнённый. Корни растений проникают на глубину до 20 см. Переход в следующий горизонт – ясный.

– A₂B₁ (25–70 см) – подзолисто-иллювиальный горизонт, тёмно-коричневый, лёгкий мореный суглинок, глыбистой структуры, свежий, уплотнённый. Содержит мелкие каменистые включения и пунктуации марганца. Переход – ясный.

– B₂ (70–160 см) – иллювиальный горизонт, лёгкий мореный суглинок коричневого цвета, влажный, глыбистой структуры, уплотнённый, с включением камней.

– B₃ (160–200 см) – лёгкий мореный суглинок красно-бурого цвета, плотный, глыбистый, свежий, с каменистыми включениями.

По совокупности морфологических признаков почва классифицирована как дерново-подзолистая слабоподзоленная на лёгком мореном суглинке. Глубина залегания грунтовых вод превышает 5 м, что исключает их влияние на водный режим корнеобитаемого слоя в период вегетации и позволяет рассматривать орошение как единственный регулируемый фактор увлажнения.

Агрохимические показатели пахотного слоя (0...25 см) определялись в соответствии со стандартными методиками; результаты приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты агрохимического анализа почвы опытного участка.

Содержание подвижных форм, мг/кг		Кислотность (pH)	Гумус, %
P ₂ O ₅ фосфор	K ₂ O калий		
355±55	331±37	5,29±0,6	1,68

Сопоставление полученных данных с организационно-технологическими нормативами возделывания суданской травы [108] показывает, что почва опытного участка по основным агрохимическим показателям (pH, гумус, содержание подвижного фосфора и обменного калия) соответствует требованиям культуры. Это подтверждает корректность выбора участка для закладки полевых опытов и позволяет интерпретировать полученные результаты без оговорок о лимитирующем действии химических свойств почвы.

Для расчёта режимов орошения и поливных норм в 2020–2022 гг. определялись ключевые водно-физические характеристики почвы:

- наименьшая влагоёмкость (НВ) устанавливалась в полевых условиях методом заливаемых площадок по методикам [20, 152];
 - плотность сложения почвы определялась методом режущего кольца согласно [117];
 - гранулометрический состав уточнялся лабораторно по ГОСТ 12536-2014.
- Усреднённые за три года результаты измерений представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Водно-физические свойства почв опытного участка, средние за годы проведения исследований 2020-2022 гг.

Слой почвы, см	Наименьшая влагоёмкость, % от массы сухой почвы	Плотность почвы, г/см ³	Расчётные величины		
			Среднее по слоям, см	Наименьшая влагоёмкость, % от массы сухой почвы	Плотность почвы, г/см ³
0-10	23,4	1,24	0-10	23,4	1,24
10-20	22,2	1,38	0-20	22,8	1,31
20-30	20,9	1,42	0-30	22,2	1,35
30-40	20,6	1,55	0-40	21,8	1,40
40-60	18,8	1,59	0-60	21,2	1,44
60-80	14,7	1,66	0-80	20,1	1,47
80-100	12,7	1,69	0-100	19,0	1,50

Примечание: НСР_{0,5%} = 5,2 средняя ошибка опыта 2,8.

Анализ этих данных показывает, что в слое 0...40 см (принятом нами в качестве расчётного для поливов) значения НВ изменяются от 23,4 % (0–10 см) до 20,6 % (30–40 см) от массы сухой почвы. Плотность почвы в этом слое возрастает с 1,24 до 1,40 г/см³. Эти параметры были использованы при расчёте поливных норм по формуле (2.1) и обосновании порогов предполивной влажности (раздел 3.3).

2.3 Программа, схема полевого опыта и методический инструментарий исследований

Экспериментальная часть работы выполнялась на основе современных общепринятых и специальных методик, изложенных в трудах Б.А. Доспехова [33], А.М. Алпатьева [7], П.П. Рогового [128], Г.П. Сурмача [159], Н.Н. Дубенка [37], М.Г. Голченко [25], Н.С. Ерхова [48], И.П. Кружилина [75], Г.С. Донгузова [32], А.П. Лихацевича [85], А.М. Ларионовой [81], В.В. Пчёлкина [124], А.Н. Костякова [74], А.И. Михальцевича [97] и других исследователей. Статистическая обработка экспериментальных данных выполнялась с использованием пакета MS Excel в соответствии с рекомендациями [16, 21, 33].

Объектом исследования служили посевы суданской травы сортов «Пружанская» (селекция РУП «Брестская ОСХОС НАН Беларуси» [28]) и «Сенокосная 88», возделываемые на дерново-подзолистых суглинистых почвах восточной части Беларуси. Выбор сортов обусловлен их включением в Государственный реестр Республики Беларусь и положительными результатами предварительных испытаний в регионе [28].

Предметом исследования являлись: водный режим дерново-подзолистых суглинистых почв под суданской травой; параметры искусственного дождя, формируемого различными дождевальными устройствами; биоклиматические показатели водопотребления культуры; экономические и энергетические критерии эффективности орошения.

Полевые эксперименты закладывались на территории учебно-опытного комплекса «Тушково-1» Горецкого района Могилёвской области в 2020–2022 гг. Суданская трава выращивалась на зелёную массу; посев проводился в третьей декаде мая сплошным рядовым способом зерновой сеялкой (рисунок 2.4) с нормой высева 3,0 млн всхожих семян на 1 га и глубиной заделки около 4 см [108].

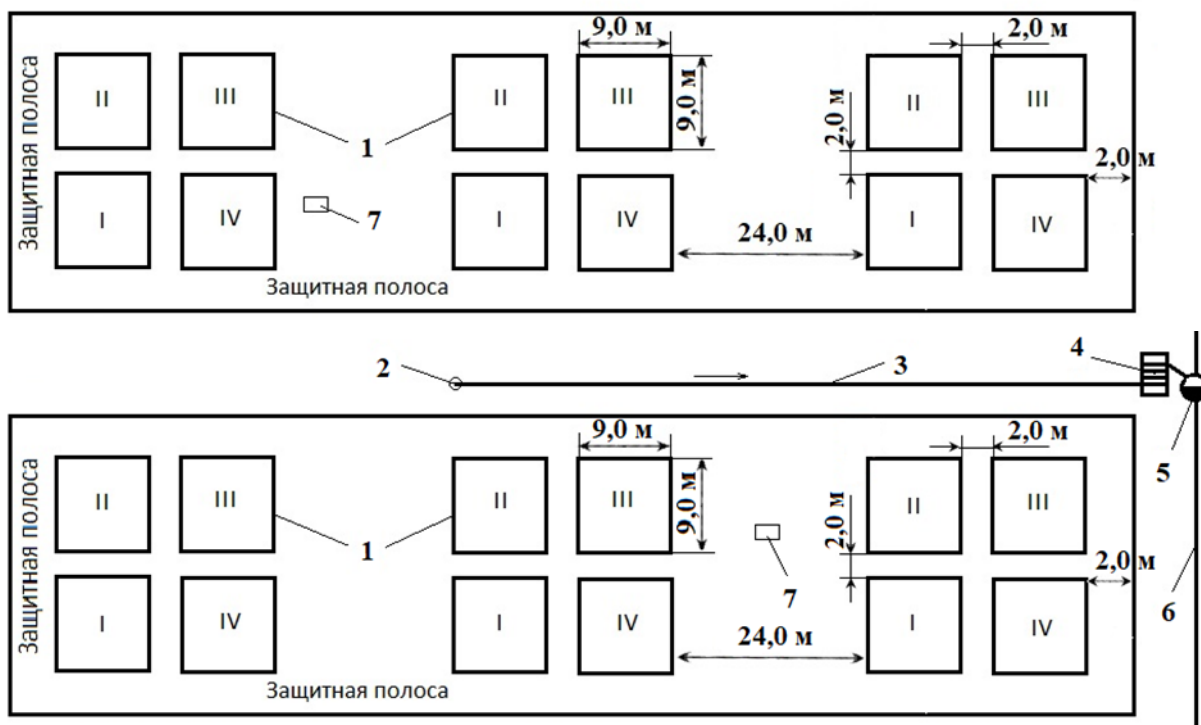


Рисунок 2.4 – Посев суданской травы на опытном участке

Схема опыта (рисунок 2.5) включала три варианта увлажнения:

1. Без орошения (контроль);
2. Поддержание влажности не ниже 70...80 % НВ ;
3. Поддержание влажности не ниже 80...90 % НВ .

Сенокосная 88



а) Без орошения

б) 70...80% НВ

в) 80...90% НВ

Рисунок 2.5 – Схема опыта: 1 – повторности; 2 – дождевальная аппаратура;

3 – шланг; 4 – барабан; 5 – гидрант; 6 – напорный трубопровод;

7 – место устройства почвенных разрезов

Минеральные удобрения вносились в дозе $N_{60}P_{60}K_{100}$ кг/га д.в. [108]; повторность опыта – четырёхкратная. Размер учётных делянок составлял 81 м² (9×9 м), ширина защитных полос – 2 м (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Разбивка опытного участка на делянки

Орошение осуществлялось дальнеструйным дождевателем SR-140, смонтированным на барабанно-шланговой дождевальной установке Bauer Rainstar T-61 (рисунок 2.7). Выбор данной техники обусловлен её широким распространением в хозяйствах Беларуси и возможностью регулирования интенсивности дождя путём смены насадок (диаметром 16, 22 и 30 мм), что позволяло создавать полив с заданными параметрами (интенсивность 0,21; 0,28; 0,36 мм/мин).

Программа исследований включала следующие направления:

1. Изучение водопотребления суданской травы методом водного баланса с расчётом суммарного испарения по формуле 3.1, включая определение декадных и суммарных за вегетацию значений.
2. Установление зональных биоклиматических коэффициентов (K_6) на основе фактического водопотребления и сумм дефицитов влажности воздуха (по формуле 3.3).



Рисунок 2.7 – Орошение дальнеструйным дождевателем SR-140

3. Оценка динамики влажности почвы в расчётном слое с периодичностью один раз в 10 дней.

4. Исследование поверхностного стока на стоковых площадках размером 2×5 м с измерением объёма стекающей воды.

5. Оценка качества искусственного дождя (интенсивность, крупность капель, равномерность распределения).

6. Определение экономической и энергетической эффективности орошения.

Контроль влажности почвы осуществлялся термостатно-весовым способом (ГОСТ 28268-89) с отбором образцов через каждые 10 см в слое 0–40 см и через 20 см в слое 40–100 см, в трёхкратной повторности. Наименьшую влагоёмкость определяли методом заливаемых площадок [20, 152]; плотность почвы – методом режущего кольца [117]; гранулометрический состав – лабораторным методом (ГОСТ 12536-2014) в аккредитованной лаборатории БГСХА. Агрохимические показатели (рН, гумус, P_2O_5 , K_2O) определялись в лаборатории УКПП «Могилёвская областная проектно-изыскательская станция агрохимизации».

Поверхностный сток при искусственном дождевании изучался на стоковых площадках (2×5 м) объёмным методом по приращению уровня воды в мерной ёмкости. Впитывающая способность почвы оценивалась с помощью малой дождевальной установки (МДУ) [92], воспроизводящей дождь интенсивностью до 1 мм/мин на площадке 0,5 м². Площадь листовой поверхности определялась по [151]; урожайность зелёной массы – методом сплошного скашивания с учётом всей учётной деланки [33, 73].

Гидравлические и качественные характеристики разработанной дождевальной насадки определялись по стандартизированным методикам: расход воды – объёмным методом (ГОСТ ИСО 8224-1-2004); крупность капель – методом бумажных фильтров (СТО АИСТ 11.1-2010); равномерность распределения – по слою воды в дождемерах (ГОСТ ИСО 11545-2004) с расчётом коэффициента Христиансена по формуле 5.3.

Поливные нормы рассчитывались по формуле (2.1), учитывающей глубину расчётного слоя, плотность почвы и разность между верхней и нижней границами влажности.

$$m = 10h\gamma_{об} (\beta_v - \beta_n); \quad (2.1)$$

где m – поливная норма, мм;

h – глубина расчетного увлажняемого слоя, м;

$\gamma_{об}$ – плотность почвы, г/см³

β_v, β_n – соответственно влажность почвы при верхней и нижней границах оптимального увлажнения, % от массы сухой почвы.

Подпитывание грунтовыми водами не учитывалось ввиду их залегания глубже 5 м. Удобрения вносились в начале вегетации и после первого укоса разбросным способом. Метеорологические данные (температура воздуха, осадки, дефицит влажности) использовались по материалам агрометеорологической станции Горки.

2.4 Агрометеорологические условия в период проведения исследований

Изучались метеорологические условия периода с 2020 г. по 2022 г. с мая по сентябрь используя данные Агрометеорологической станции Горки (приложение 1).

Минимальные и максимальные значения температур приведены в приложении 2, 3.

Определялась мера схождения метеорологических условий по осадкам используя методику [25], результаты представлены в приложении 4.

Для оценки природной тепло и влагообеспеченности территории нами применялся метод Г.Т. Селянинова, основой которого является гидротермический коэффициент ГТК, в котором используется сумма температур и атмосферных осадков.

$$\text{ГТК} = \frac{\sum P}{0,1 \cdot \sum t} \quad (2.2)$$

где $\sum P$ – сумма атмосферных осадков за период с $t \geq 10$ С;

$\sum t$ – сумма температур воздуха за тот же период, °С.

Декадные и месячные значения показателей ГТК по годам исследований приведены в приложении 6.

Из приложения 6 видно, что месячные значения ГТК говорят о достаточном увлажнении участка. Декадные значения меньше 1,0 о недостаточном увлажнении. В первый год исследований с ГТК меньшим 1,0 есть период более двадцати дней это две декады, а именно это 3-я декада июля и 1-я декада августа. В этот период времени проводились поливы. Аналогичный период, но больший по продолжительности, с ГТК меньшим 1,0 наблюдался во второй год исследований. Этот период начинался с последней декады мая до второй декады июля. Во время этого засушливого периода также проводились поливы суданской травы.

Используя методику схождения метеорологических элементов Голченко М.Г. [25], по осадкам май месяц по сравнению со средне многолетними значениями имеет хорошее сходство, коэффициент (К) равен 0,83 (приложение 4). Минимальная температура за месяц составила 5,2 °С (приложение 2), максимальная 18,1 °С (приложение 3). Коэффициент увлажнённости Д.И. Шашко ($K_{ув}$) более 0,6 (приложение 5) говорит о том, что участок находится в зоне избыточного увлажнения, то же время имеются и засушливые периоды $K_{ув}$ менее 0,35.

$$K_{ув} = \sum P / (\sum d) \quad (2.3)$$

где $\sum P$ – сумма атмосферных осадков за период, мм;

$\sum d$ – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха, мб.

Так, например, в течение мая месяца 2022 года сумма осадков составила за месяц 59,1 мм, что говорит о хорошем сходстве со среднемноголетним годом $K = 0,95$. Коэффициент $K_{ув} = 0,42$ говорит о хорошей увлажнённости, как и ГТК = 2,12 за месяц. Минимальная температура за месяц составила 5,6 °С, максимальная 14,7 °С.

Июнь месяц 2022 года характеризовался хорошим сходством со среднемноголетним годом по осадкам $K = 0,92$. С минимальной температурой 13,4 °С, максимальной 24,8 °С. За месяц коэффициент Шашко и ГТК говорят о хорошей увлажнённости, они равны 0,43 и 1,58 соответственно. А вот первая и вторая декады мая согласно этим коэффициентам являются засушливыми, $K_{ув} = 0,21$ и 0,14, ГТК = 0,86 и 0,48 соответственно. На динамике влажности почвы мы наблюдаем её уменьшение в слое 0-60 см примерно на 4 %, что обусловило первый полив на делянках с контролем влажности 0,8НВ.

Июль месяц 2022 года в целом характеризовался хорошим сходством по атмосферным осадкам $K = 0,93$, также о хорошей увлажнённости говорит ГТК = 1,2 и коэффициент Шашко равный $K_{ув} = 0,42$. Однако в разрезе по декадам видно, что первая и вторая декады месяца имеют посредственное сходство, а третья декада слабое сходство со средне многолетними декадными значениями. По ГТК и

коэффициенту Шашко первая и третья декады характеризуются как периоды с недостаточной увлажнённой, значения коэффициентов равны 0,67; 0,40 и 0,20; 0,12 соответственно. Вторая декада июля характеризуется избыточными осадками, ГТК = 2,96, коэффициент Шашко $K_{ув} = 1,45$. На графиках динамики влажности отмечен рост влагозапасов почвы в слое 0-60 см. Так же опытные участки с нижней границей регулирования влажности 0,8НВ в третьей декаде нуждались в поливе. Минимальная температура за месяц составила 13,4 °С, максимальная 22,9 °С.

В августе месяце 2022 года отмечен рост температур как минимальной, так и максимальной, 15,1 °С и 23,7 °С соответственно. Кроме этого август месяц выдался аномально низким по значениям осадков. Месячное сходство со средне многолетним годом 0,27 – это слабое сходство. Декадные значения также имеют слабое сходство с декадными средне многолетними. Месячный ГТК равен 0,18, коэффициент Шашко $K_{ув} = 0,04$ – говорят о сухом климате, декадные значения ГТК и $K_{ув}$ также этому соответствуют. Влагозапасы почвы уменьшались, что вызвало необходимость во втором поливе на участках с нижним порогом влажности 0,7НВ и двух поливах на участках с нижним порогом влажности почвы 0,8НВ.

Мера схождения сентября месяца 2022 года со среднемноголетними значениями осадков – хорошая. ГТК за сентябрь равен 0,39, $K_{ув} = 1,19$. Значения ГТК = 0 и $K_{ув} = 0,05$ говорят о засушливой первой декаде, со слабым сходством со средне многолетними осадками. Вторая декада с ГТК = 0,03 говорит о недостатке осадков, а $K_{ув} = 3,70$ о избыточном увлажнении. Это можно объяснить понижением температуры менее 10 °С, значения которых не учитывает ГТК и не учитывает соответствующие этому периоду времени величины осадков, но эти значения осадков учитывает коэффициент Шашко. Мера схождения со средне многолетними значениями осадков по второй декаде – посредственная. Третья декада имеет полное сходство со средне многолетними значениями осадков, о чём так же свидетельствует ГТК = 1,42 и $K_{ув} = 1,29$. Минимальная температура за месяц составила 7,6 °С, максимальная 13,1 °С. Динамика влажности почвы имела тенденцию к уменьшению в первой декаде и увеличения во второй и третьей.

2.5 Обеспеченность гидрометеорологическими ресурсами вегетационных периодов

Для расчета процента обеспеченности используем данные 50-ти лет наблюдений за осадками и температурой воздуха по агрометеорологической станции Горки (приложение 7).

Для расчёта обеспеченности лет по сумме осадков за период май–сентябрь использовался классический метод, применяемый в агрометеорологии. Исходные данные (50-летний ряд наблюдений на агрометеорологической станции Горки) располагались в убывающем порядке (от максимального значения к минимальному). Для каждого члена упорядоченного ряда вычислялась обеспеченность по эмпирической формуле (2.4):

$$P_i = \frac{m_i - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100, \quad (2.4)$$

где m_i – порядковый номер члена ряда в убывающем ряду (от 1 до n);

n – общее число членов ряда (в нашем случае $n = 50$).

Для определения среднемноголетних значений осадков за 50 лет наблюдений используем «Метод моментов». Этот метод рассматриваем в упрощенном варианте без учета внутрирядной корреляции.

Среднемноголетние значения осадков H_0 определяется как среднее арифметическое с заданной ошибкой по формуле

$$H_0 = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n}. \quad (2.5)$$

Коэффициент вариации представляет собой относительное среднее квадратическое отклонение C_v

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}}, \quad (2.6)$$

Представим осадки в виде модульного коэффициента (безразмерной относительной величины) k_i .

$$k_i = \frac{H_i}{H_0}, \quad (2.7)$$

где H_i – осадки i -го года, мм;

H_0 – среднее многолетнее значение осадков, мм.

Расчёт проводим в таблице (приложение 8).

Контроль вычислений по таблице приложения 8:

$$\sum k_i = n \pm 0,03; \sum(k_i - 1) \leq \pm 0,03$$

тогда $\sum k_i = 50 = 50$; $\sum(k_i - 1) = -1,110E-15 < -0,03$, контроль выполнен.

$$C_v = \sqrt{\frac{2,8397+00}{50-1}} = 0,24$$

Критерием достоверности в определении среднемноголетнего значения осадков и коэффициента вариации осадков, являются величины вероятных ошибок, которые не должны превосходить следующие величины:

$$\sigma_H = \frac{100C_v}{\sqrt{n}} \leq 10 \%. \quad (2.8)$$

$$\sigma_{C_v} = 100 \sqrt{\frac{1 + C_v^2}{2n}} = 15 \%. \quad (2.9)$$

$$\sigma_H = \frac{100 \cdot 0,24}{\sqrt{50}} = 3,40 < 10 \%. \quad (2.10)$$

$$\sigma_{C_v} = 100 \sqrt{\frac{1 + 0,24^2}{2 \cdot 50}} = 10,29 < 15 \%. \quad (2.11)$$

Так как указанные условия выполняются, то ряд величин осадков считается длинным.

Далее строим кривую обеспеченности по осадкам, рисунок 2.8.

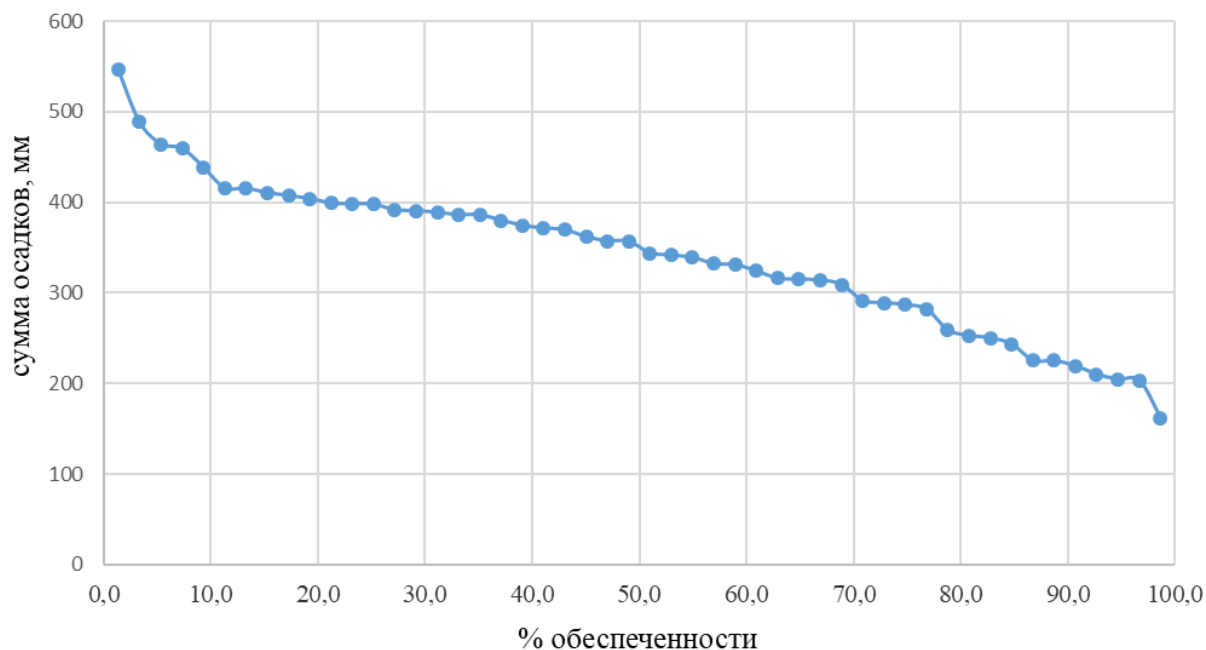


Рисунок 2.8 – Кривая обеспеченности по осадкам за период с мая по сентябрь по агрометеорологической станции Горки с 1973 по 2022 гг.

Определяем обеспеченность исследуемых лет. Так 2020 год с мая по сентябрь включительно выпало 415 мм осадков что составляет 13 % обеспеченности, 2021 год 371 мм – 41 % обеспеченности, 2022 год 309 мм – 69 % обеспеченности.

Однако, как отмечалось выше, водный режим в расчётном слое почвы определяется не только количеством выпадающих осадков, но и интенсивностью испарения с поверхности почвы и транспирацией растений. Эти процессы существенно зависят от температуры воздуха, влажности и скорости ветра, а их совокупное действие может значительно варьировать по годам, даже при одинаковом количестве осадков. Поэтому для более объективной оценки влагообеспеченности вегетационных периодов нами выполнено построение кривой обеспеченности по разности между осадками и испарением за период май–сентябрь.

Исходные данные для расчёта – суммы осадков и суммы температур за каждый год 50-летнего ряда – были взяты из метеорологической таблицы (приложение 7). Величина испарения за расчётный период определялась по эмпирической формуле П.Л. Волконского [36]:

$$E = K_{\text{и}} \cdot \sum t \quad (2.12)$$

где $K_{\text{и}}$ – модуль испарения (объём воды, испаряемой с 1 га за период, в пересчёте на 1 °С среднесуточной температуры воздуха); значение $K_{\text{и}}$ зависит от влажности почвы и принимается по графикам [42];

$\sum t$ – сумма среднесуточных температур воздуха за расчётный период (май–сентябрь), °С

Для условий наших исследований влажность почвы в пределах водосбора составляла 65 % от полной влагоёмкости. Этому значению по графику, приведённому в [36], соответствует $K_{\text{и}} = 1,7 \text{ м}^3/\text{гана } 1 \text{ }^\circ\text{С}$, что в пересчёте на слой воды составляет 0,17 мм на 1 °С. Таким образом, расчётная формула принимает вид: $E = 0,17 \cdot \sum t$.

Полученные значения испарения для каждого года представлены в приложении 9.

Разность между осадками и испарением ($P - E$) для различных лет может иметь как положительное, так и отрицательное значение. Так, например, в 1985 г. этот показатель составил +176 мм (избыток влаги), а в 2002 г. – 259 мм (значительный дефицит), что подтверждает существенную межгодовую изменчивость условий увлажнения в регионе. По значениям ($P - E$) для каждого года был построен убывающий ряд и рассчитана обеспеченность по формуле (2.4), что позволило классифицировать годы проведения наших исследований (2020–2022) по степени увлажнения (рисунок 2.9).

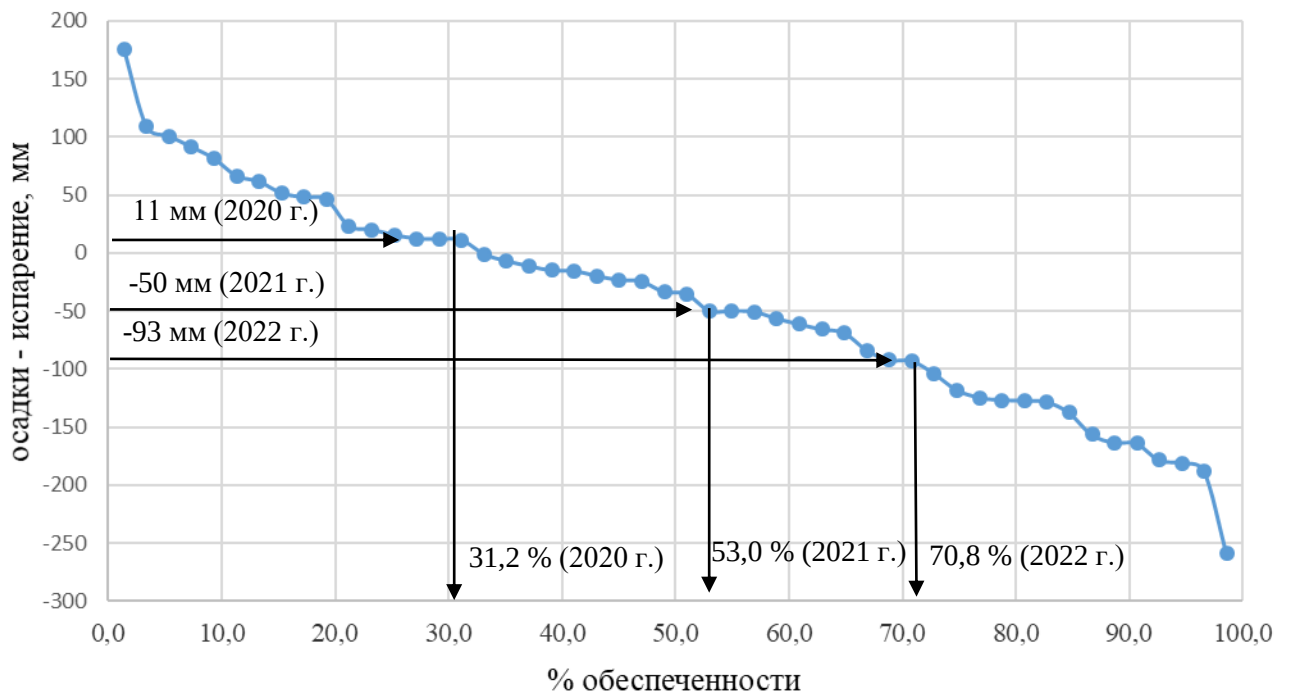


Рисунок 2.9 – Кривая обеспеченности по разности между осадками и испарением за период с мая по сентябрь по агрометеорологической станции Горки с 1973 по 2022 гг.

На основании таблицы приложения 9 и рисунка 2.9 определяем, что 2020 год являлся средневлажным (31,2 %), 2021 год – средний (53,0 %), 2022 год – среднесухой (70,8 %).

Выводы

1. Природные условия восточной части Беларуси создают противоречивый фон для ведения сельского хозяйства. С одной стороны, это регион с высоким сельскохозяйственным потенциалом, с другой стороны, распространение водной эрозии, наличие заболоченных земель и неустойчивое увлажнение, требуют проведения комплекса мелиоративных мероприятий для устойчивого и эффективного землепользования.

2. Участок характеризуется: благоприятными агрохимическими условиями для выращивания суданской травы (обеспеченность фосфором и калием, оптимальная кислотность); определённым риском временного переувлажнения (что отражено в названии почвы), но при этом глубоким залеганием грунтовых вод; хорошей обеспеченностью водными ресурсами для проведения опытов по орошению; детально изученными и типичными для региона водно-физическими свойствами, что позволяет использовать полученные данные (НВ, плотность) для точного расчёта режимов орошения.

3. Методика исследований является комплексной, научно обоснованной и соответствует современным стандартам полевого опыта. Она включает: чётко структурированную схему полевого опыта с достаточной повторностью и изоляцией делянок; сбалансированный контроль ключевых факторов (водный режим, питание, сорт, агротехника); использование стандартных формул и технических средств для полива и контроля.

4. Метеорологические условия в 2020-2022 гг. наглядно продемонстрировали, неравномерное внутрисезонное распределение осадков что приводит к возникновению засушливых периодов длительностью от 20 дней и более. Это объективно подтверждает необходимость разработки и применения научно обоснованных режимов орошения суданской травы для гарантированного получения высоких урожаев в условиях восточной Беларуси.

5. Проведённый вероятностно-статистический анализ доказал, что период исследований, годы (2020, 2021, 2022) представляют ключевые типы влагообеспеченности, характерные для восточной части Беларуси. Разработанные на основе этих данных рекомендации по режимам орошения суданской травы будут обоснованы для условий, повторяемость которых составляет от 13 % до 70 %, то есть охватывают большую часть реально возможных сезонов.

3. ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ И РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БЕЛАРУСИ

3.1 Суммарное водопотребление суданской травы

Суммарное водопотребление представляет собой один из ключевых компонентов водного баланса орошаемого участка, интегрирующий все статьи расхода влаги из расчётного слоя почвы за определённый интервал времени. Его величина определяется комплексом взаимосвязанных факторов, среди которых ведущая роль принадлежит:

- почвенным условиям – гранулометрическому составу, структурному состоянию и исходной влажности почвы;
- биологическим особенностям культуры – фазе развития, площади листовой поверхности и интенсивности транспирации;
- метеорологическим факторам – температуре и влажности воздуха, скорости ветра, радиационному режиму.

Для суданской травы, как и для других сельскохозяйственных культур, наиболее тесная связь водопотребления с погодными условиями прослеживается через температуру воздуха и дефицит влажности. Повышение температуры и снижение относительной влажности воздуха ведут к росту потенциальной испаряемости, что, в свою очередь, увеличивает фактическое водопотребление культуры при условии достаточной влагообеспеченности почвы.

В научной литературе накоплен обширный экспериментальный материал, устанавливающий корреляционные и регрессионные зависимости между суммарным водопотреблением и метеорологическими показателями (сумма температур, дефицит влажности воздуха, радиационный баланс). Эти зависимости лежат в основе большинства расчётных методов определения поливных норм и режимов орошения – от классических формул А.М. Алпатьева и А.Н. Костякова до современных биоклиматических моделей.

Вместе с тем, как показано в главе 1, для условий восточной Беларуси и дерново-подзолистых суглинистых почв такие зависимости для суданской травы ранее не были получены. Это определило необходимость проведения собственных экспериментальных исследований по установлению фактических параметров водопотребления и их связи с метеорологическими факторами, результаты которых представлены в разделах 3.1–3.2.

Для расчёта суммарного водопотребления суданской травы в наших исследованиях использовались несколько методов, различающихся по исходным данным и расчётным подходам. В таблице 3.1 приведены основные расчётные формулы, а ниже даны пояснения к используемым переменным.

Таблица 3.1 – Расчётные методы определения водопотребления

№ формулы	Вид зависимости	Метод, автор
3.1	$E = W_n - W_k + P + m \cdot n - C$	Метод водного баланса (МВБ)
3.2	$E = K_t t_{max}$	А.П. Лихацевич
3.3	$E = K_{\delta} \sum d$	С.М. Алпатьев
3.4	$E = 1,74 n K_{\delta} d^{0,4}$	А.И. Михальцевич
3.5	$E = 1,35 n K_{\delta} d^{0,5}$	Нормативный документ (ТКП)
3.6	$E = K_{\delta} U$	А.Н. Костяков

Переменные, общие для всех методов:

E – суммарное водопотребление за расчётный период, мм;

n – количество дней в расчётном периоде.

Переменные для метода водного баланса:

W_n, W_k – влажность почвы соответственно в начале и в конце расчётного периода, мм (определялась термостатно-весовым способом);

P – количество атмосферных осадков за расчётный период, мм;

m – поливная норма, мм;

n – количество поливов за расчётный период;

C – потери воды на поверхностный сток, мм (рассчитывались по формуле 3.7 с учётом гранулометрического состава почвы).

Переменные для биоклиматических методов:

K_t – биотермический коэффициент (используется в методе А.П. Лихацевича, формула 3.2);

t_{max} – средняя максимальная суточная температура воздуха за расчётный период, °C;

K_ϕ – биологический коэффициент водопотребления, мм/мб (средний за расчётный интервал, определялся экспериментально по формуле 3.11);

$\sum d$ – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха за расчётный период, мб (метод С.М. Алпатьева, формула 3.3);

$d^{0,5}$ – среднесуточный дефицит влажности воздуха, (используется в методе А.И. Михальцевича – формула 3.4, и в нормативном методе ТКП – формула 3.5);

K_e – коэффициент водопотребления, используемый в методе А.Н. Костякова (формула 3.6), связывающий водопотребление с планируемой урожайностью;

U – планируемая урожайность суданской травы, т/га (для метода Костякова принималась на уровне 40...60 т/га зелёной массы в зависимости от варианта опыта).

В наших исследованиях была поставлена задача определить водопотребление суданской травы в условиях орошения в северо-восточной части Беларуси.

Поставленную задачу, по определению водопотребления, решали по методу водного баланса (формула 3.1). Влажность почвы определялась термостатновесовым способом, величину осадков определяли по данным метеостанции, потери воды, учитывающей сток, по следующей формуле [109]:

$$C = K_c \cdot (W_k - W_{HB}), \text{ мм} \quad (3.7)$$

где K_c – учитывает долю воды, которая не успевает впитаться в почву и формирует поверхностный сток. Его значение принимается в зависимости от гранулометрического состава почвы согласно нормативам, приведённым в [108]:

1,00 – для почв лёгкого гранулометрического состава (песчаные, супесчаные и легкосуглинистые разности), характеризующихся высокой водопроницаемостью и, соответственно, минимальными потерями на сток даже при значительных поливных нормах;

0,95 – для среднесуглинистых почв, у которых водопроницаемость несколько ниже, а риск образования стока возрастает при интенсивном дождевании;

0,90 – для тяжелосуглинистых и глинистых почв с низкой фильтрационной способностью, где значительная часть поливной воды может теряться на поверхностный сток даже при умеренной интенсивности дождя.

После определения водопотребления в начале и в конце расчётного периода, строился график интегральной кривой водопотребления, с которого снимались декадные его значения для каждого сорта (табл. 3.2; 3.3) и рассчитывалось среднее водопотребление суданской травы за декаду (табл. 3.4).

На график по оси ординат наносились точки рассчитанного водопотребления. На оси абсцисс откладывали период времени вегетации культуры. Проводилась плавная линия осредняющая поле точек и показывающая период с максимальным водопотреблением и двумя периодами с минимальным водопотреблением (приложение 10).

Анализ данных, представленных в таблицах 3.2...3.4 и на рисунках приложения 10, позволяет выявить чёткие закономерности изменения водопотребления суданской травы в течение вегетационного периода 2020 года.

Таблица 3.2 – Декадное водопотребление суданской травы сорта «Пружанская», определённое по методу водного баланса, мм

Варианты	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь			Сумма за май-сентябрь
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
2020 год																
Без орошения		8,1	29,5	27,9	53,9	20,5	43,8	25,2	27,4	21,2	11,2	30,4	30,7	23,0	21,4	374,1
70...80 % НВ		7,6	27,6	30,9	53,2	18,5	31,3	21,4	43,8	34,8	11,8	30,1	40,2	26,4	32,4	410,1
80 ...90% НВ		7,5	29,5	33,0	56,3	12,7	45,0	43,5	41,9	31,6	15,8	38,1	42,5	39,6	23,3	460,3
2021 год																
Без орошения		5,1	20,0	20,7	26,8	29,7	25,3	34,9	44,4	21,6	38,9	21,9	36,7	16,2	24,8	367,1
70...80 % НВ		6,7	21,9	46,4	24,2	40,4	30,3	21,4	49,0	36,3	36,9	26,8	37,1	17,6	30,5	425,5
80 ...90% НВ		6,8	35,2	29,5	29,2	40,6	34,0	32,4	68,0	49,5	47,1	27,9	57,6	14,7	23,3	495,8
2022 год																
Без орошения		8,1	34,4	21,6	24,1	41,0	12,2	33,1	33,6	18,2	13,9	11,3	21,7	22,3	33,5	329,1
70...80 % НВ		7,1	33,7	25,9	46,4	42,2	17,8	36,9	50,3	29,8	30,5	31,8	26,1	26,9	28,8	434,3
80 ...90% НВ		7,1	39,6	29,5	36,0	50,0	24,3	42,3	48,2	31,9	37,6	28,6	33,1	31,9	34,3	474,6

Примечание: для 2020 г. $НСР_{0,5\%} = 3,1$; средняя ошибка опыта 1,6. В 2021 г. $НСР_{0,5\%} = 4,6$; средняя ошибка опыта 2,5. Для 2022 г. $НСР_{0,5\%} = 4,4$ средняя ошибка опыта 2,3.

Таблица 3.3 – Декадное водопотребление суданской травы сорта «Сенокосная 88», определённое по методу водного баланса, мм

Варианты	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь			Сумма за май-сентябрь
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
2020 год																
Без орошения		7,5	27,3	25,7	49,7	18,9	40,4	23,2	25,2	19,6	10,4	28,0	28,3	21,2	19,8	345,3
70...80 % НВ		7,0	25,4	28,5	49,2	17,1	28,9	19,8	40,4	32,2	10,8	27,7	37,2	24,4	30,0	378,5
80 ...90% НВ		6,9	27,3	30,4	51,9	11,7	41,6	40,1	38,7	29,2	14,6	35,1	39,3	36,6	21,5	424,9
2021 год																
Без орошения		4,7	18,4	19,1	24,8	27,5	23,3	32,3	41,0	20,0	35,9	20,3	33,9	15,0	22,8	338,9
70...80 % НВ		6,1	20,3	42,8	22,4	37,2	27,9	19,8	45,2	33,5	34,1	24,8	34,3	16,2	28,1	392,7
80 ...90% НВ		6,2	32,4	27,3	27,0	37,4	31,4	30,0	62,8	45,7	43,5	25,7	53,2	13,5	21,5	457,6
2022 год																
Без орошения		7,5	31,8	20,0	22,3	37,8	11,2	30,5	31,0	16,8	12,9	10,5	20,1	20,5	30,9	303,7
70...80 % НВ		6,5	31,1	23,9	42,8	39,0	16,4	34,1	46,5	27,6	28,1	29,4	24,1	24,9	26,6	400,9
80 ...90% НВ		6,5	36,6	27,3	33,2	46,2	22,5	39,1	44,4	29,5	34,8	26,4	30,5	29,5	31,7	438,0

Примечание: для 2020 г. НСР_{0,5%} = 4,1; средняя ошибка опыта 2,3. В 2021 г. НСР_{0,5%} = 3,5; средняя ошибка опыта 1,9. Для 2022 г. НСР_{0,5%} = 4,9 средняя ошибка опыта 3,3.

Таблица 3.4 – Среднее декадное водопотребление суданской травы, определённое по методу водного баланса, за годы исследований, мм

Варианты	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь			Сумма за май- сентябрь
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
2020 год																
Без орошения		7,8	28,4	26,8	51,8	19,7	42,1	24,2	26,3	20,4	10,8	29,2	29,5	22,1	20,6	359,7
70...80 % НВ		7,3	26,5	29,7	51,2	17,8	30,1	20,6	42,1	33,5	11,3	28,9	38,7	25,4	31,2	394,3
80 ...90% НВ		7,2	28,4	31,7	54,1	12,2	43,3	41,8	40,3	30,4	15,2	36,6	40,9	38,1	22,4	442,6
2021 год																
Без орошения		4,9	19,2	19,9	25,8	28,6	24,3	33,6	42,7	20,8	37,4	21,1	35,3	15,6	23,8	353,0
70...80 % НВ		6,4	21,1	44,6	23,3	38,8	29,1	20,6	47,1	34,9	35,5	25,8	35,7	16,9	29,3	409,1
80 ...90% НВ		6,5	33,8	28,4	28,1	39	32,7	31,2	65,4	47,6	45,3	26,8	55,4	14,1	22,4	476,7
2022 год																
Без орошения		7,8	33,1	20,8	23,2	39,4	11,7	31,8	32,3	17,5	13,4	10,9	20,9	21,4	32,2	316,4
70...80 % НВ		6,8	32,4	24,9	44,6	40,6	17,1	35,5	48,4	28,7	29,3	30,6	25,1	25,9	27,7	417,6
80 ...90% НВ		6,8	38,1	28,4	34,6	48,1	23,4	40,7	46,3	30,7	36,2	27,5	31,8	30,7	33	456,3

Примечание: для 2020 г. НСР_{0,5%} = 2,7; средняя ошибка опыта 1,4. В 2021 г. НСР_{0,5%} = 2,9; средняя ошибка опыта 1,5. Для 2022 г. НСР_{0,5%} = 3,4 средняя ошибка опыта 2,1.

Максимальные значения суммарного водопотребления на всех вариантах опыта зафиксированы во второй декаде июня. Этот пик объясняется аномально высоким температурным режимом: среднесуточная температура воздуха в этот период превысила среднемноголетнюю норму на 22,8 % (т.е. составила 122,8 % от нормы). Вторая волна повышенного водопотребления наблюдалась в третьей декаде августа, когда температура также существенно отклонялась от климатической нормы (+17,6 % относительно среднемноголетних значений). Оба этих периода характеризовались не только высокими температурами, но и, как правило, пониженной относительной влажностью воздуха, что усиливало транспирационный расход влаги растениями.

Минимальные значения водопотребления отмечены во второй декаде мая и второй декаде августа. В эти периоды среднесуточная температура воздуха составляла соответственно 93,7 % и 92,5 % от среднемноголетней нормы, что создавало менее напряжённые условия для испарения и транспирации. Следует отметить, что низкие значения водопотребления в мае связаны также с начальной фазой развития культуры (всходы – начало кущения), когда площадь листовой поверхности невелика, а транспирационные потери минимальны.

Таким образом, динамика водопотребления в 2020 году чётко коррелирует с температурным режимом: периоды повышения температуры на 15–25 % относительно нормы сопровождались ростом водопотребления на всех вариантах опыта, независимо от уровня орошения. Это подтверждает необходимость учёта температурных аномалий при оперативном планировании поливов и корректировке оросительных норм.

В 2021 году на всех вариантах опыта максимальное водопотребление наблюдалось в третьей декаде июля и первой декаде сентября. При этом среднесуточная температура воздуха в эти декады составляла соответственно 106,8 % и 125,2 % соответственно от среднемноголетних значений.

Минимальное суммарное водопотребление наблюдалось в этом году во второй декаде мая, в период сева культуры, и во второй декаде сентября, а

среднесуточная температура воздуха в эту декаду от среднемноголетних значений составила 86,4 %.

В 2022 году, как и в предыдущие сезоны, прослеживается чёткая зависимость водопотребления от температурного режима. Максимальные значения суммарного водопотребления на всех вариантах опыта зафиксированы в третьей декаде июня, когда среднесуточная температура воздуха достигала 117,5 % от среднемноголетней нормы. Этот период совпал с активным ростом суданской травы, когда транспирационные потери влаги максимальны.

Минимальные значения водопотребления в 2022 году отмечены во второй декаде мая и второй декаде июля. В эти интервалы температура воздуха составляла соответственно 83,2 % от нормы, что создавало менее напряжённые условия для испарения. Следует отметить, что низкое водопотребление в мае связано с начальной фазой развития культуры, а в июле – с периодом между укосами, когда площадь листовой поверхности временно уменьшается.

Анализ многолетних данных (2020...2022 гг.) позволяет выделить устойчивую закономерность: максимальное суммарное водопотребление за весь вегетационный период (май–сентябрь) во все годы исследований наблюдалось на вариантах с поддержанием влажности почвы на уровне 80 % НВ, а минимальное – на контрольном варианте (без орошения). Это подтверждает, что дополнительное увлажнение стимулирует развитие листового аппарата и, как следствие, увеличивает транспирационные потери, что является физиологически обусловленным процессом.

На основе декадных данных было рассчитано среднесуточное водопотребление суданской травы для каждого месяца вегетационного периода (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Среднесуточное водопотребление суданской травы за годы исследований, определённое методом водного баланса (МВБ), мм

Месяцы	Без орошения		70...80 % НВ		80...90 % НВ	
	Среднесуточное водопотребление	Пределы изменений за 3 года	Среднесуточное водопотребление	Пределы изменений за 3 года	Среднесуточное водопотребление	Пределы изменений за 3 года
Май	1,69	0,49...3,31	1,68	0,64...3,24	1,73	0,65...3,81
Июнь	2,84	1,97...5,18	3,16	1,78...5,12	3,05	1,22...5,41
Июль	2,69	1,17...4,27	2,91	1,71...4,84	3,65	2,34...6,54
Август	1,82	1,08...3,74	2,59	1,13...3,55	2,96	1,52...4,76
Сентябрь	2,21	1,56...3,53	2,56	1,69...3,87	2,89	1,41...5,54
Среднее	2,25		2,58		2,85	

Примечание: НСР_{0,5%} = 3,9 средняя ошибка опыта 1,8.

Анализ таблицы 3.5 показывает, что наиболее высокие значения среднесуточного водопотребления за три года исследований на всех вариантах опыта приходятся на июль и сентябрь. Это объясняется биологическими особенностями культуры: в указанные месяцы суданская трава достигает фазы вымётывания метёлки, которая характеризуется максимальной облиственностью и, соответственно, наибольшей площадью ассимиляционной поверхности. В этот период транспирация достигает своего пика, что требует повышенного внимания к водоснабжению растений, особенно в условиях орошения.

Минимальные значения среднесуточного водопотребления за годы проведения исследований приходятся на май и июнь месяцы, когда суданская трава начинает свой рост и развитие.

В целом среднее значение среднесуточного водопотребления минимально на контрольном варианте, а максимально на варианте с нижним пределом влагозапасов равным 80 % от наименьшей влагоёмкости.

По нашим экспериментальным данным нами были вычислены значения суммарного водопотребления на 1⁰С среднесуточной температуры воздуха.

Результаты расчёта значений суммарного водопотребления, отнесённого к 1 °С среднесуточной температуры воздуха, систематизированы в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Суммарное водопотребление суданской травы в пересчёте на 1 °С среднесуточной температуры воздуха, мм/сут

Варианты	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Без орошения	0,153	0,151	0,141	0,098	0,200
70...80 % НВ	0,152	0,167	0,152	0,139	0,231
80...90 % НВ	0,156	0,161	0,191	0,160	0,261

Примечание: НСР_{0,5%} = 4,1 средняя ошибка опыта 2,2.

Анализ данных, представленных в таблице 3.6, позволяет выявить две устойчивые закономерности.

Первая – максимальные значения суммарного водопотребления, нормированного на 1 °С среднесуточной температуры воздуха, на всех вариантах опыта приходятся на сентябрь. Это объясняется тем, что в этот период культура достигает фазы вымётывания метёлки, сопровождающейся максимальной облиственностью и, соответственно, наивысшей интенсивностью транспирации.

Вторая – прослеживается чёткий тренд роста показателя в каждом месяце при переходе от контрольного варианта (без орошения) к варианту с поддержанием влажности почвы 80...90 % НВ, то есть по мере увеличения числа поливов и общего объёма оросительной воды. Это подтверждает, что на орошаемых участках суммарное водопотребление суданской травы систематически выше, чем на неорошаемых, что обусловлено более мощным развитием листового аппарата и, как следствие, более интенсивной транспирацией.

Для количественной оценки зависимости суммарного водопотребления от температурного фактора был выполнен корреляционный и регрессионный анализ экспериментальных данных по методике Б.А. Доспехова [33]. В результате для контрольного варианта (без орошения) получено уравнение линейной регрессии:

$$E_k = 1,15 \cdot T + 4,74 \quad (3.8)$$

где E_k – суммарное водопотребление за декаду на контрольном варианте, мм;

T – среднесуточная температура воздуха за декаду, °C.

Коэффициент корреляции составил $r = 0,71$, что указывает на тесную прямую связь между температурой и водопотреблением (при уровне значимости 0,05). Полученное уравнение позволяет рассчитывать теоретические значения водопотребления для известных температурных условий в пределах диапазона экспериментальных данных.

На основе уравнения (3.8) были вычислены усреднённые теоретические значения водопотребления, по которым построена теоретическая линия регрессии с доверительной зоной (рисунок 3.1). Это даёт возможность оценивать прогнозируемый диапазон водопотребления при различных погодных условиях.

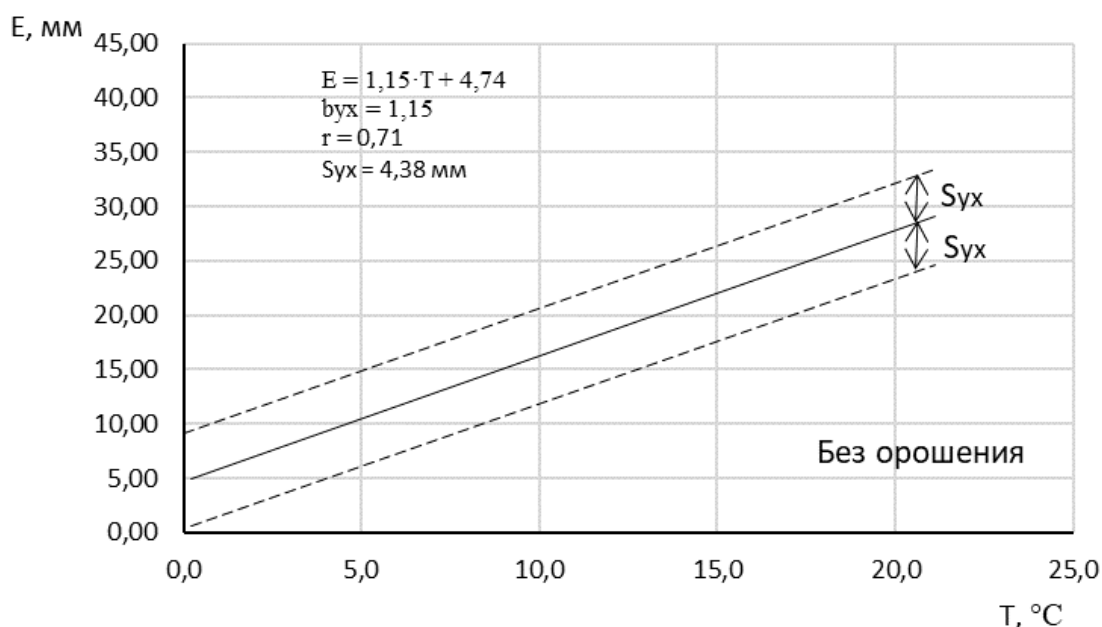


Рисунок 3.1 – Теоретическая линия регрессии зависимости суммарного водопотребления суданской травы за декаду (E) от среднесуточной температуры воздуха (T) для варианта без орошения (контроль)

Аналогичные расчёты выполнены и для вариантов с поддержанием влажности почвы 70 % НВ и 80 % НВ. Полученные уравнения регрессии и их статистические характеристики приведены в приложении 11.

На основе аналогичных расчётов для орошаемых вариантов были получены следующие уравнения регрессии, описывающие связь суммарного водопотребления с температурным фактором:

$$E_{70\% \text{ НВ}} = 1,13 \cdot T + 8,87 \quad (3.9)$$

$$E_{80\% \text{ НВ}} = 1,34 \cdot T + 9,12 \quad (3.10)$$

где $E_{70\% \text{ НВ}}$, $E_{80\% \text{ НВ}}$ – суммарное водопотребление на вариантах с нижней границей оптимальной влажности 70...80 % НВ и 80...90 % НВ, мм;

Коэффициенты корреляции и их доверительные интервалы, следующие:

$r = 0,72$ и $0,77$, $S_{yx} = 4,19$ и $4,25$ соответственно для вариантов 70...80 % НВ и 80...90 % НВ.

С целью оценки адекватности разработанных регрессионных моделей было выполнено сопоставление расчётных значений суммарного водопотребления, полученных по уравнениям (3.8)–(3.10), со средними фактическими величинами, установленными по результатам трёхлетних полевых опытов. Результаты сравнения представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Среднее фактическое и расчётное суммарное водопотребление суданской травы за вегетационный период (май–сентябрь), мм

Годы исследований	Варианты	Водопотребление, мм		Отклонение расчётного от фактического, %
		Фактическое	По уравнениям	
2020	Без орошения	359,7	321,4	10,6
	70...80 % НВ	394,3	374,8	4,9
	80...90 % НВ	442,6	424,9	4,0
2021	Без орошения	353,0	336,4	4,7
	70...80 % НВ	409,1	389,5	4,8
	80...90 % НВ	476,7	442,3	7,2
2022	Без орошения	316,4	332,8	4,9
	70...80 % НВ	417,6	386,0	7,6
	80...90 % НВ	456,3	438,2	4,0

Примечание: $НСР_{0,5\%} = 5,6$ средняя ошибка опыта 3,1.

Анализ данных, представленных в таблице 3.7, показывает, что отклонение расчётных значений суммарного водопотребления, полученных по уравнениям (3.8)–(3.10), от фактических экспериментальных данных составляет от 4,0 до 10,6 % в зависимости от года исследований и варианта опыта. Наибольшее расхождение (10,6 %) отмечено для контрольного варианта в 2020 г., наименьшее (4,0 %) – для варианта с 80...90 % НВ в 2020 и 2022 гг.

Полученный уровень точности (погрешность не превышает 11 %) является приемлемым для инженерных расчётов режимов орошения и позволяет рекомендовать разработанные уравнения (3.8)–(3.10) для практического использования при водобалансовом обосновании поливных норм и оросительных режимов суданской травы в условиях восточной части Беларуси. Применение этих зависимостей даёт возможность оперативно прогнозировать суммарное водопотребление культуры на основе доступных метеорологических данных (среднесуточная температура воздуха) без проведения трудоёмких полевых измерений.

Сопоставим данные по среднему водопотреблению с данными полученными по расчётным формулам других исследователей. Расчёты проводим по формулам А.П. Лихацевича, С.М. Алпатьева, А.И. Михальцевича, по нормативному документу (ТКП), А.Н. Костякова и по полученным уравнениям (3.8...3.10). Результаты расчёта представлены в таблице 3.8, графическое отображение дано на рисунке 3.2.

Из таблицы 3.8 видно, что процент отклонения расчётного водопотребления, полученного по формулам 3.8...3.10, от фактического колеблется от 89 % до 105 %, в зависимости от варианта опыта. Так, например, для варианта без орошения процент отклонения расчётного водопотребления, полученного по формулам 3.8...3.10, от фактического составляет 89,4...105,2 %, для варианта с нижней границей регулирования влажности почвы 70...80 % НВ – 92,4...95,1 %, для варианта с нижней границей 80 % НВ – 92,8...98,0 % соответственно.

Таблица 3.8 – Сравнение фактического суммарного водопотребления суданской травы с расчётным по различным методикам за вегетационный период (май–сентябрь), мм

Варианты	Метод определения водопотребления, автор. Процент отклонения расчётного водопотребления от фактического												
	факт	А.П. Лихацевич		С.М. Алпатьев		А.И. Михальцевич		Норм. док. (ТКП)		А.Н. Костяков		По уравнениям (3.8...3.10)	
	Е, мм	Е, мм	%	Е, мм	%	Е, мм	%	Е, мм	%	Е, мм	%	Е, мм	%
2020 год													
Без орошения	359,7	366,2	101,8	423,4	117,7	351,4	97,7	346,4	96,3	432,4	120,2	321,4	89,4
70...80 % НВ	394,3	403,4	102,3	449,9	114,1	368,3	93,4	362,0	91,8	448,7	113,8	374,8	95,1
80...90 % НВ	442,6	437,7	98,9	468,3	105,8	398,8	90,1	395,7	89,4	409,8	92,6	424,9	98,0
2021 год													
Без орошения	343,0	340,9	99,4	381,8	111,3	328,6	95,8	310,8	90,6	427,7	124,7	336,4	98,1
70...80 % НВ	409,1	411,6	100,6	484,8	118,5	401,7	98,2	384,6	94,0	457,8	111,9	389,5	95,2
80...90 % НВ	476,7	499,1	104,7	486,7	102,1	426,6	89,5	405,7	85,1	566,8	118,9	442,3	92,8
2022 год													
Без орошения	316,4	349,0	110,3	385,4	121,8	349,9	110,6	344,6	108,9	307,5	97,2	332,8	105,2
70...80 % НВ	417,6	456,0	109,2	450,6	107,9	388,8	93,1	370,4	88,7	469,0	112,3	386,0	92,4
80...90 % НВ	456,3	470,4	103,1	430,3	94,3	436,2	95,6	419,8	92,0	427,1	93,6	438,2	96,0

Примечание: для 2020 г. НСР_{0,5%} = 5,6; средняя ошибка опыта 2,9. В 2021 г. НСР_{0,5%} = 4,2; средняя ошибка опыта 2,7. Для 2022 г. НСР_{0,5%} = 3,8 средняя ошибка опыта 2,3.

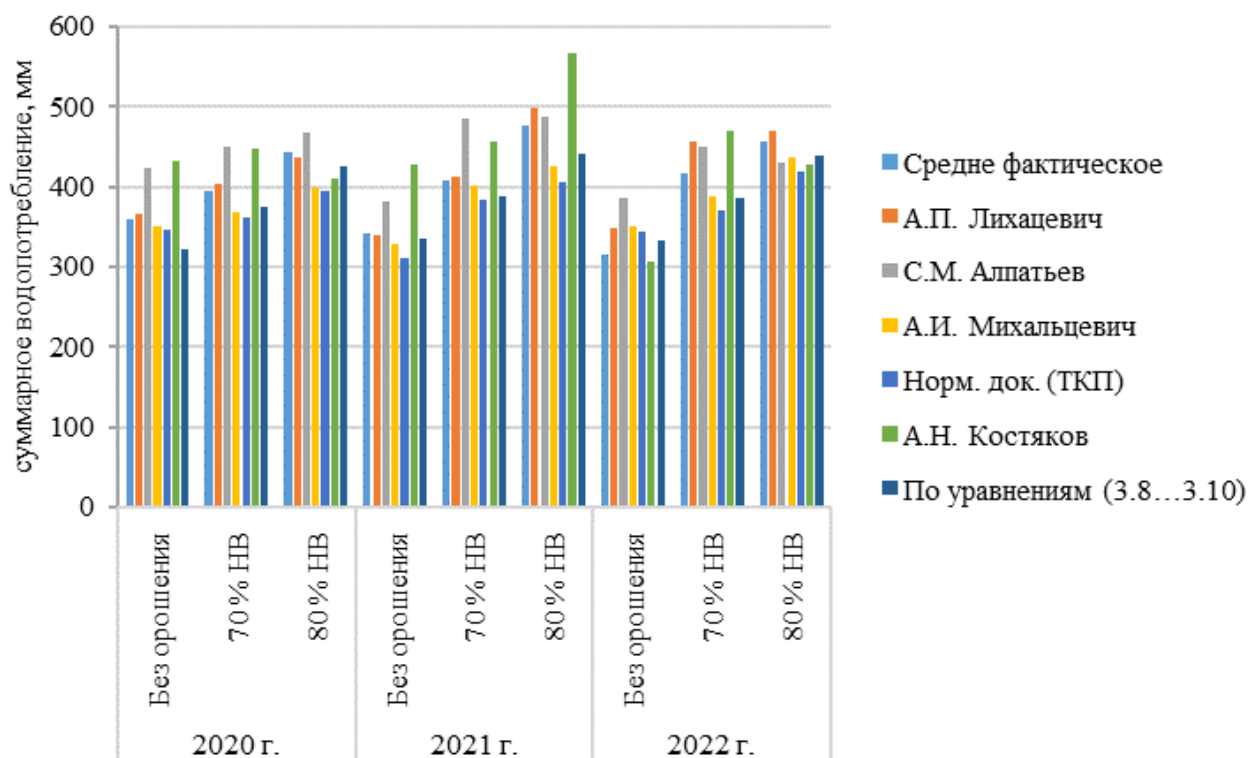


Рисунок 3.2 – Сравнение фактического и расчётного суммарного водопотребления суданской травы по вариантам опыта за вегетационный период (май–сентябрь)

Из представленных в таблице 3.7 методов определения водопотребления, данные диапазоны близки к методу определения водопотребления по нормативному документу ТКП.

3.2 Биоклиматические коэффициенты водопотребления суданской травы

За период исследований (три года) с учётом фактического водопотребления определили биоклиматический коэффициент (K_6) рассчитанный, исходя из формулы (3.3) А.М. Алпатьева, а именно

$$K_6 = E_{\phi} / \sum d \quad (3.11)$$

где E_{ϕ} – фактическое водопотребление, мм;

$\sum d$ – сумма дефицитов влажности воздуха, мб.

За годы исследований были получены биоклиматические коэффициенты через суммарное водопотребление для суданской травы сортов «Пружанская» и «Сенокосная 88» для условий восточной части Беларуси (табл. 3.9; 3.10), а также их средние значения (табл. 3.11).

На график по оси ординат наносились точки рассчитанного биоклиматического коэффициента. На оси абсцисс откладывали период времени вегетации культуры. Проводилась плавная линия осредняющая поле точек и показывающая период с максимальным водопотреблением и двумя периодами с минимальным водопотреблением (приложение 12).

На основе полученных средних значений биоклиматического коэффициента K_6 (таблица 3.11) построен график его изменения по декадам вегетационного периода (рисунок 3.3). По осреднённым точкам проведена сглаживающая кривая, отражающая общий тренд динамики водопотребления суданской травы в течение сезона.

Анализ данных таблицы 3.11 и графических зависимостей на рисунке 3.3 позволяет выявить чёткую периодичность в изменении биоклиматического коэффициента. Значения K_6 изменяются не монотонно, а образуют ряд последовательных интервалов, каждый из которых характеризуется определённым диапазоном величин. При сопоставлении этих интервалов со сроками проведения укосов установлено, что каждый период изменения коэффициента соответствует определённой фазе отрастания культуры между укосами.

Таким образом, динамика биоклиматического коэффициента K_6 тесно связана с цикличностью развития суданской травы: в периоды активного нарастания биомассы (после укосов) значения коэффициента возрастают, достигая максимума в фазу максимальной облиственности, а затем снижаются по мере старения листового аппарата перед следующим укосом. Это подтверждает, что биоклиматический коэффициент является адекватным интегральным показателем, отражающим как метеорологические условия, так и биологическую активность культуры.

Таблица 3.9 – Значение биоклиматических коэффициентов, фактическое водопотребление (Е) суданской травы сорта "Пружанская", суммы среднесуточных дефицитов влажности (Σd) для условий восточной части Беларуси (по результатам исследований)

Варианты	Показатели	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2020 год																
Без орошения	Е, мм		8,1	29,5	27,9	53,9	20,5	43,8	25,2	27,4	21,2	11,2	30,4	30,7	23,0	21,4
	Σd, мб		39,8	40,8	51,9	63,7	60,8	43,7	48,8	54,5	66,1	48,2	43,5	33,5	23,8	44,8
	Кб, мм/мб		0,20	0,72	0,54	0,85	0,34	1,00	0,52	0,50	0,32	0,23	0,70	0,92	0,97	0,48
70...80 % НВ	Е, мм		7,6	27,6	30,9	53,2	18,5	31,3	21,4	43,8	34,8	11,8	30,1	40,2	26,4	32,4
	Σd, мб		39,8	40,8	51,9	63,7	60,8	43,7	48,8	54,5	66,1	48,2	43,5	33,5	23,8	44,8
	Кб, мм/мб		0,19	0,68	0,60	0,84	0,30	0,72	0,44	0,80	0,53	0,24	0,69	1,20	1,11	0,72
80...90 % НВ	Е, мм		7,5	29,5	33,0	56,3	12,7	45,0	43,5	41,9	31,6	15,8	38,1	42,5	39,6	23,3
	Σd, мб		39,8	40,8	51,9	63,7	60,8	43,7	48,8	54,5	66,1	48,2	43,5	33,5	23,8	44,8
	Кб, мм/мб		0,19	0,72	0,64	0,88	0,21	1,03	0,89	0,77	0,48	0,33	0,88	1,27	1,66	0,52
2021 год																
Без орошения	Е, мм		5,1	20,0	20,7	26,8	29,7	25,3	34,9	44,4	21,6	38,9	21,9	36,7	16,2	24,8
	Σd, мб		44,4	57,9	64,5	75,8	103,8	101,7	121,9	101,2	64,2	62,6	32,1	31,2	26,5	11,5
	Кб, мм/мб		0,11	0,34	0,32	0,35	0,29	0,25	0,29	0,44	0,34	0,62	0,68	1,18	0,61	2,15
70...80 % НВ	Е, мм		6,7	21,9	46,4	24,2	40,4	30,3	21,4	49,0	36,3	36,9	26,8	37,1	17,6	30,5
	Σd, мб		44,4	57,9	64,5	75,8	103,8	101,7	121,9	101,2	64,2	62,6	32,1	31,2	26,5	11,5
	Кб, мм/мб		0,15	0,38	0,72	0,32	0,39	0,30	0,18	0,48	0,57	0,59	0,84	1,19	0,66	2,65
80...90 % НВ	Е, мм		6,8	35,2	29,5	29,2	40,6	34,0	32,4	68,0	49,5	47,1	27,9	57,6	14,7	23,3
	Σd, мб		44,4	57,9	64,5	75,8	103,8	101,7	121,9	101,2	64,2	62,6	32,1	31,2	26,5	11,5
	Кб, мм/мб		0,15	0,61	0,46	0,39	0,39	0,33	0,27	0,67	0,77	0,75	0,87	1,85	0,55	2,03

Продолжение таблицы 3.9

2022 год																
Без орошения	Е, мм		8,1	34,4	21,6	24,1	41,0	12,2	33,1	33,6	18,2	13,9	11,3	21,7	22,3	33,5
	$\sum d$, мб		45,2	45,6	74	60	67	67	31,3	66,2	68,2	90,8	112,2	38,5	16,9	15,53
	K_6 , мм/мб		0,18	0,75	0,29	0,40	0,61	0,18	1,06	0,51	0,27	0,15	0,10	0,56	1,32	2,16
70...80 % НВ	Е, мм		7,1	33,7	25,9	46,4	42,2	17,8	36,9	50,3	29,8	30,5	31,8	26,1	26,9	28,8
	$\sum d$, мб		45,2	45,6	74	60	67	67	31,3	66,2	68,2	90,8	112,2	38,5	16,9	15,53
	K_6 , мм/мб		0,16	0,74	0,35	0,77	0,63	0,27	1,18	0,76	0,44	0,34	0,28	0,68	1,59	1,85
80...90 % НВ	Е, мм		7,1	39,6	29,5	36,0	50,0	24,3	42,3	48,2	31,9	37,6	28,6	33,1	31,9	34,3
	$\sum d$, мб		45,2	45,6	74	60	67	67	31,3	66,2	68,2	90,8	112,2	38,5	16,9	15,53
	K_6 , мм/мб		0,16	0,87	0,40	0,60	0,75	0,36	1,35	0,73	0,47	0,41	0,25	0,86	1,89	2,21
Без орошения	$K_{ср}$, мм/мб		0,17	0,61	0,38	0,53	0,41	0,48	0,62	0,48	0,31	0,34	0,49	0,89	0,96	1,60
70...80 % НВ			0,17	0,60	0,55	0,64	0,44	0,43	0,60	0,68	0,51	0,39	0,60	1,02	1,12	1,74
80...90 % НВ			0,17	0,73	0,50	0,62	0,45	0,58	0,84	0,72	0,57	0,50	0,67	1,33	1,37	1,59

Примечание: для 2020 г. НСР_{0,5%} = 4,5; средняя ошибка опыта 2,3. В 2021 г. НСР_{0,5%} = 5,2; средняя ошибка опыта 2,8. Для 2022 г.

НСР_{0,5%} = 4,0 средняя ошибка опыта 2,1.

Таблица 3.10 – Значение биоклиматических коэффициентов, фактическое водопотребление (Е) суданской травы сорта "Сенокосная 88", суммы среднесуточных дефицитов влажности (Σd) для условий восточной части Беларуси (по результатам исследований)

Варианты	Показатели	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2020 год																
Без орошения	Е, мм		7,5	27,3	25,7	49,7	18,9	40,4	23,2	25,2	19,6	10,4	28,0	28,3	21,2	19,8
	Σd, мб		39,8	40,8	51,9	63,7	60,8	43,7	48,8	54,5	66,1	48,2	43,5	33,5	23,8	44,8
	K ₆ , мм/мб		0,19	0,67	0,50	0,78	0,31	0,92	0,48	0,46	0,30	0,22	0,64	0,85	0,89	0,44
70...80 % НВ	Е, мм		7,0	25,4	28,5	49,2	17,1	28,9	19,8	40,4	32,2	10,8	27,7	37,2	24,4	30,0
	Σd, мб		39,8	40,8	51,9	63,7	60,8	43,7	48,8	54,5	66,1	48,2	43,5	33,5	23,8	44,8
	K ₆ , мм/мб		0,18	0,62	0,55	0,77	0,28	0,66	0,41	0,74	0,49	0,23	0,64	1,11	1,02	0,67
80...90 % НВ	Е, мм		6,9	27,3	30,4	51,9	11,7	41,6	40,1	38,7	29,2	14,6	35,1	39,3	36,6	21,5
	Σd, мб		39,8	40,8	51,9	63,7	60,8	43,7	48,8	54,5	66,1	48,2	43,5	33,5	23,8	44,8
	K ₆ , мм/мб		0,17	0,67	0,59	0,82	0,19	0,95	0,82	0,71	0,44	0,30	0,81	1,17	1,54	0,48
2021 год																
Без орошения	Е, мм		4,7	18,4	19,1	24,8	27,5	23,3	32,3	41,0	20,0	35,9	20,3	33,9	15,0	22,8
	Σd, мб		44,4	57,9	64,5	75,8	103,8	101,7	121,9	101,2	64,2	62,6	32,1	31,2	26,5	11,5
	K ₆ , мм/мб		0,11	0,32	0,30	0,33	0,26	0,23	0,26	0,41	0,31	0,57	0,63	1,09	0,57	1,99
70...80 % НВ	Е, мм		6,1	20,3	42,8	22,4	37,2	27,9	19,8	45,2	33,5	34,1	24,8	34,3	16,2	28,1
	Σd, мб		44,4	57,9	64,5	75,8	103,8	101,7	121,9	101,2	64,2	62,6	32,1	31,2	26,5	11,5
	K ₆ , мм/мб		0,14	0,35	0,66	0,30	0,36	0,27	0,16	0,45	0,52	0,54	0,77	1,10	0,61	2,45
80...90 % НВ	Е, мм		6,2	32,4	27,3	27,0	37,4	31,4	30,0	62,8	45,7	43,5	25,7	53,2	13,5	21,5
	Σd, мб		44,4	57,9	64,5	75,8	103,8	101,7	121,9	101,2	64,2	62,6	32,1	31,2	26,5	11,5
	K ₆ , мм/мб		0,14	0,56	0,42	0,36	0,36	0,31	0,25	0,62	0,71	0,69	0,80	1,70	0,51	1,87

Продолжение таблицы 3.10

2022 год																
Без орошения	Е, мм		7,5	31,8	20,0	22,3	37,8	11,2	30,5	31,0	16,8	12,9	10,5	20,1	20,5	30,9
	Σd , мб		45,2	45,6	74	60	67	67	31,3	66,2	68,2	90,8	112,2	38,5	16,9	15,53
	K_6 , мм/мб		0,17	0,70	0,27	0,37	0,56	0,17	0,98	0,47	0,25	0,14	0,09	0,52	1,22	1,99
70...80 % НВ	Е, мм		6,5	31,1	23,9	42,8	39,0	16,4	34,1	46,5	27,6	28,1	29,4	24,1	24,9	26,6
	Σd , мб		45,2	45,6	74	60	67	67	31,3	66,2	68,2	90,8	112,2	38,5	16,9	15,53
	K_6 , мм/мб		0,14	0,68	0,32	0,71	0,58	0,25	1,09	0,70	0,40	0,31	0,26	0,63	1,47	1,71
80...90 % НВ	Е, мм		6,5	36,6	27,3	33,2	46,2	22,5	39,1	44,4	29,5	34,8	26,4	30,5	29,5	31,7
	Σd , мб		45,2	45,6	74	60	67	67	31,3	66,2	68,2	90,8	112,2	38,5	16,9	15,53
	K_6 , мм/мб		0,14	0,80	0,37	0,55	0,69	0,34	1,25	0,67	0,43	0,38	0,24	0,79	1,74	2,04
Без орошения	$K_{ср}$, мм/мб		0,15	0,56	0,35	0,49	0,38	0,44	0,57	0,45	0,28	0,31	0,46	0,82	0,89	1,47
70...80 % НВ			0,15	0,55	0,51	0,59	0,41	0,39	0,55	0,63	0,47	0,36	0,56	0,94	1,04	1,61
80...90 % НВ			0,15	0,68	0,46	0,57	0,41	0,53	0,77	0,67	0,53	0,46	0,61	1,22	1,26	1,46

Примечание: для 2020 г. НСР_{0,5%} = 3,5; средняя ошибка опыта 2,1. В 2021 г. НСР_{0,5%} = 4,9; средняя ошибка опыта 2,5. Для 2022 г.

НСР_{0,5%} = 5,6 средняя ошибка опыта 3,0.

Таблица 3.11 – Средние значения биоклиматических коэффициентов, среднее фактическое водопотребление суданской травы (E), суммы среднесуточных дефицитов влажности (Σd) для условий восточной части Беларуси и сравнение с региональными нормативами

Варианты	Показатели	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2020 год																
Без орошения	E, мм		7,8	28,4	26,8	51,8	19,7	42,1	24,2	26,3	20,4	10,8	29,2	29,5	22,1	20,6
	Σd, мб		39,8	40,8	51,9	63,7	60,8	43,7	48,8	54,5	66,1	48,2	43,5	33,5	23,8	44,8
	K ₆ , мм/мб		0,20	0,70	0,52	0,81	0,32	0,96	0,50	0,48	0,31	0,22	0,67	0,88	0,93	0,46
70...80 % НВ	E, мм		7,3	26,5	29,7	51,2	17,8	30,1	20,6	42,1	33,5	11,3	28,9	38,7	25,4	31,2
	Σd, мб		39,8	40,8	51,9	63,7	60,8	43,7	48,8	54,5	66,1	48,2	43,5	33,5	23,8	44,8
	K ₆ , мм/мб		0,18	0,65	0,57	0,80	0,29	0,69	0,42	0,77	0,51	0,23	0,66	1,16	1,07	0,70
80...90 % НВ	E, мм		7,2	28,4	31,7	54,1	12,2	43,3	41,8	40,3	30,4	15,2	36,6	40,9	38,1	22,4
	Σd, мб		39,8	40,8	51,9	63,7	60,8	43,7	48,8	54,5	66,1	48,2	43,5	33,5	23,8	44,8
	K ₆ , мм/мб		0,18	0,70	0,61	0,85	0,20	0,99	0,86	0,74	0,46	0,32	0,84	1,22	1,60	0,50
2021 год																
Без орошения	E, мм		4,9	19,2	19,9	25,8	28,6	24,3	33,6	42,7	20,8	37,4	21,1	35,3	15,6	23,8
	Σd, мб		44,4	57,9	64,5	75,8	103,8	101,7	121,9	101,2	64,2	62,6	32,1	31,2	26,5	11,5
	K ₆ , мм/мб		0,11	0,33	0,31	0,34	0,28	0,24	0,28	0,42	0,32	0,60	0,66	1,13	0,59	2,07
70...80 % НВ	E, мм		6,4	21,1	44,6	23,3	38,8	29,1	20,6	47,1	34,9	35,5	25,8	35,7	16,9	29,3
	Σd, мб		44,4	57,9	64,5	75,8	103,8	101,7	121,9	101,2	64,2	62,6	32,1	31,2	26,5	11,5
	K ₆ , мм/мб		0,14	0,36	0,69	0,31	0,37	0,29	0,17	0,47	0,54	0,57	0,80	1,14	0,64	2,55
80...90 % НВ	E, мм		6,5	33,8	28,4	28,1	39	32,7	31,2	65,4	47,6	45,3	26,8	55,4	14,1	22,4
	Σd, мб		44,4	57,9	64,5	75,8	103,8	101,7	121,9	101,2	64,2	62,6	32,1	31,2	26,5	11,5
	K ₆ , мм/мб		0,15	0,58	0,44	0,37	0,38	0,32	0,26	0,65	0,74	0,72	0,83	1,78	0,53	1,95

Продолжение таблицы 3.11

2022 год																
Без орошения	Е, мм		7,8	33,1	20,8	23,2	39,4	11,7	31,8	32,3	17,5	13,4	10,9	20,9	21,4	32,2
	∑d, мб		45,2	45,6	74	60	67	67	31,3	66,2	68,2	90,8	112,2	38,5	16,9	15,53
	K ₆ , мм/мб		0,17	0,73	0,28	0,39	0,59	0,17	1,02	0,49	0,26	0,15	0,10	0,54	1,27	2,07
70...80 % НВ	Е, мм		6,8	32,4	24,9	44,6	40,6	17,1	35,5	48,4	28,7	29,3	30,6	25,1	25,9	27,7
	∑d, мб		45,2	45,6	74	60	67	67	31,3	66,2	68,2	90,8	112,2	38,5	16,9	15,53
	K ₆ , мм/мб		0,15	0,71	0,34	0,74	0,61	0,26	1,13	0,73	0,42	0,32	0,27	0,65	1,53	1,78
80...90 % НВ	Е, мм		6,8	38,1	28,4	34,6	48,1	23,4	40,7	46,3	30,7	36,2	27,5	31,8	30,7	33
	∑d, мб		45,2	45,6	74	60	67	67	31,3	66,2	68,2	90,8	112,2	38,5	16,9	15,53
	K ₆ , мм/мб		0,15	0,84	0,38	0,58	0,72	0,35	1,30	0,70	0,45	0,40	0,25	0,83	1,82	2,12
Без орошения	K _{ср} , мм/мб		0,16	0,58	0,37	0,51	0,40	0,46	0,60	0,46	0,30	0,32	0,48	0,85	0,93	1,53
70...80 % НВ			0,16	0,57	0,53	0,62	0,42	0,41	0,58	0,66	0,49	0,37	0,58	0,98	1,08	1,68
80...90 % НВ			0,16	0,71	0,48	0,60	0,43	0,55	0,80	0,70	0,55	0,48	0,64	1,27	1,32	1,52
ТКП 45-3.04-178-2009																
Пастбище (по циклам стравливания)	K ₆		0,85	0,91	1,06	0,94	0,72	0,85	0,91	1,06	0,94	0,72	0,85	0,91	1,06	0,94

Примечание: для 2020 г. НСР_{0,5%} = 3,1; средняя ошибка опыта 1,6. В 2021 г. НСР_{0,5%} = 4,6; средняя ошибка опыта 2,5. Для 2022 г.

НСР_{0,5%} = 4,4 средняя ошибка опыта 2,3.

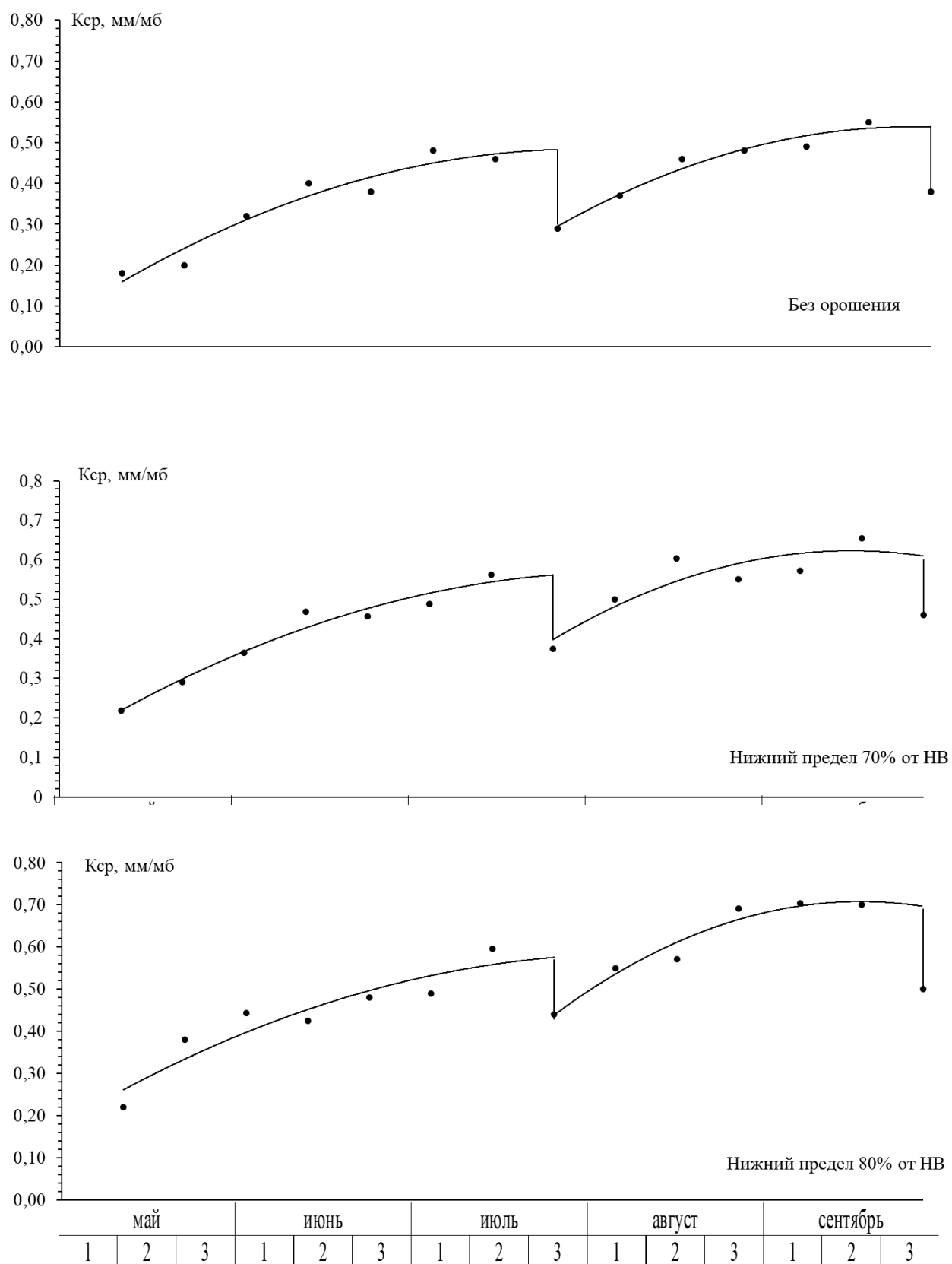


Рисунок 3.3 – Изменение коэффициента биологической кривой водопотребления суданской травы по вариантам опыта.

Применяя биологическую кривую водопотребления определяем численные значения биоклиматических коэффициентов для суданской травы (табл. 3.12).

Таблица 3.12 Коэффициенты осреднённой биологической кривой для суданской травы при укосном использовании для восточной части Беларуси

Варианты	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Без орошения		0,21	0,30	0,38	0,42	0,45	0,47	0,48	0,49 (0,35)	0,40	0,46	0,51	0,54	0,55	0,52
70 ...80% НВ		0,23	0,32	0,39	0,45	0,47	0,50	0,52	0,53 (0,38)	0,46	0,52	0,56	0,58	0,59	0,57
80...90 % НВ		0,22	0,31	0,42	0,46	0,50	0,54	0,56	0,58 (0,42)	0,50	0,59	0,64	0,68	0,70	0,69

Примечание: $НСР_{0,5\%} = 3,4$ средняя ошибка опыта 1,8.

На основании полученных данных определяем водопотребление по формулам и сравниваем его со экспериментальным средним водопотреблением суданской травы (табл. 3.13).

Таблица 3.13 – Среднее фактическое и расчётное водопотребление, определённое с помощью биоклиматических коэффициентов

Варианты	Среднее фактическое водопотребление, мм	Расчётное водопотребление, мм	Отклонение расчётного от фактического, %
2020 год			
Без орошения	359,7	365,6	1,6
70 ...80% НВ	394,3	401,0	1,7
80...90 % НВ	442,6	471,6	6,6
2021 год			
Без орошения	353,0	358,6	1,6
70 ...80% НВ	409,1	452,2	10,5
80...90 % НВ	476,7	516,4	8,3
2022 год			
Без орошения	316,4	306,7	3,1
70 ...80% НВ	417,6	450,4	7,8
80...90 % НВ	456,3	483,3	5,9

Примечание: $НСР_{0,5\%} = 4,6$ средняя ошибка опыта 2,0.

Полученные данные по биоклиматическим коэффициентам согласовываются с Кружилиным И.П. [75], Донгузовым Г.С. [32].

3.3 Обоснование оптимального увлажнения почвы и активного слоя для суданской травы

Суданская трава – это однолетняя высокопродуктивная культура. В более глубоких слоях почвы масса корней снижалась. Некоторые исследователи считают активным слоем глубину до 0,9 м [13] и до 85 % всех корней суданской травы помещается в слое 0...70 см.

Другие исследования [75] показали, что целесообразно проведение поливов суданской травы чередующимися поливными нормами, рассчитанными на глубину промачивания 0,4 и 0,8 м.

В работах [32] автор отмечает, что активный слой меняется в зависимости от фазы роста и развития суданской травы и поэтому рекомендует принимать слой почвы от 0,4 м до 0,6 м.

В работе [34] отмечено, что для выращивания суданской травы на зелёную массу, влажность нижней границы активного слоя почвы следует поддерживать не ниже 70 % наименьшей влагоёмкости, а снижение предполивного порога увлажнения менее 70 % НВ ведёт и к снижению урожая [35].

Результаты исследований, выполненных Н.Н. Дубенком и Э.Б. Дедовой [38, 43], свидетельствуют о положительном влиянии повышения предполивной влажности почвы на рост и развитие суданской травы. Авторами установлено, что увеличение нижнего порога влажности с 65–70 до 75–80 % НВ способствует активизации линейного прироста растений и формированию более мощного листового аппарата, что в конечном итоге повышает урожайность зелёной массы.

В работе Н.Н. Дубенка и А.П. Несвата [39] представлены результаты сравнительной оценки эффективности поливов при трёх уровнях предполивной влажности: 70–75, 75–80 и 80–85 % НВ. Авторы показали, что наиболее высокие прибавки урожая достигаются при поддержании влажности на уровне 80–85 % НВ,

однако при этом возрастают оросительные нормы и затраты на поливную воду. Это подтверждает необходимость дифференцированного подхода к выбору режима орошения в зависимости от почвенных условий и экономической целесообразности.

Полученные нами экспериментальные данные (см. разделы 3.4 и 6.1) согласуются с приведёнными выше результатами: на варианте с поддержанием влажности 80 % НВ зафиксирована максимальная урожайность, однако при выборе режима для производственных условий следует учитывать не только агробиологические, но и экономические критерии (оценка которых представлена в главе 6).

Кроме этого, при решении вопроса о пределах оптимального увлажнения следует учитывать сочетание таких факторов в почве как влага и воздух [74]. По мнению А.Н. Костякова воздуха в почве считается достаточным если его содержание составляет 15...20 % от общей порозности.

По опытным данным (таблица 3.14), с учётом методики [124], нами был построен график связи относительной урожайности, с влажностью почвы (рисунок 3.6). Относительная урожайность показывает отношение фактической урожайности суданской травы к максимальной её урожайности в конкретном году и условиях.

Анализ графика на рисунке 3.4 и таблицы 3.14 показывает, что наилучшее значение влажности почвы составляет 76 % НВ. Выдерживать данное значение влажности в условиях эксплуатации технически трудно, поэтому на практике рационально применять интервал влажности почвы. Поэтому рекомендуется снижать урожайность на 10...15 % от максимальной величины [124]. Используя данную рекомендацию получаем следующий диапазон влажности почвы – (0,68...0,83) НВ.

Таблица 3.14 – Результаты экспериментальных исследований связи продуктивности суданской травы с влажностью почвы

Сорт суданской травы	Годы исследований	Средняя влажность почвы W_{cp} , мм	Вариант	Урожайность, Y_i , т/га	$W_{cp} / НВ$	Относительная урожайность, Y_i / Y_{max}
Пружанская	2020	81	I	9,99	0,68	0,71
		94	II	12,41	0,78	0,88
		100	III	14,06	0,83	1,00
	2021	76	I	9,2	0,63	0,73
		86	II	12,04	0,72	0,95
		91	III	12,61	0,76	1,00
	2022	75	I	8,85	0,63	0,75
		82	II	10,95	0,68	0,93
		87	III	11,74	0,73	1,00
Сенокосная 88	2020	80	I	9,22	0,67	0,70
		96	II	11,23	0,80	0,85
		102	III	13,24	0,85	1,00
	2021	77	I	8,49	0,64	0,71
		85	II	10,89	0,71	0,92
		95	III	11,88	0,79	1,00
	2022	74	I	8,17	0,62	0,74
		83	II	9,91	0,69	0,90
		92	III	11,06	0,77	1,00

Примечание: I – без орошения, $НСР_{0,5\%} = 3,3$; средняя ошибка опыта 1,7; II – 70...80 % НВ, $НСР_{0,5\%} = 4,5$; средняя ошибка опыта 3,1; III – 80...90 % НВ, $НСР_{0,5\%} = 5,2$; средняя ошибка опыта 2,6.

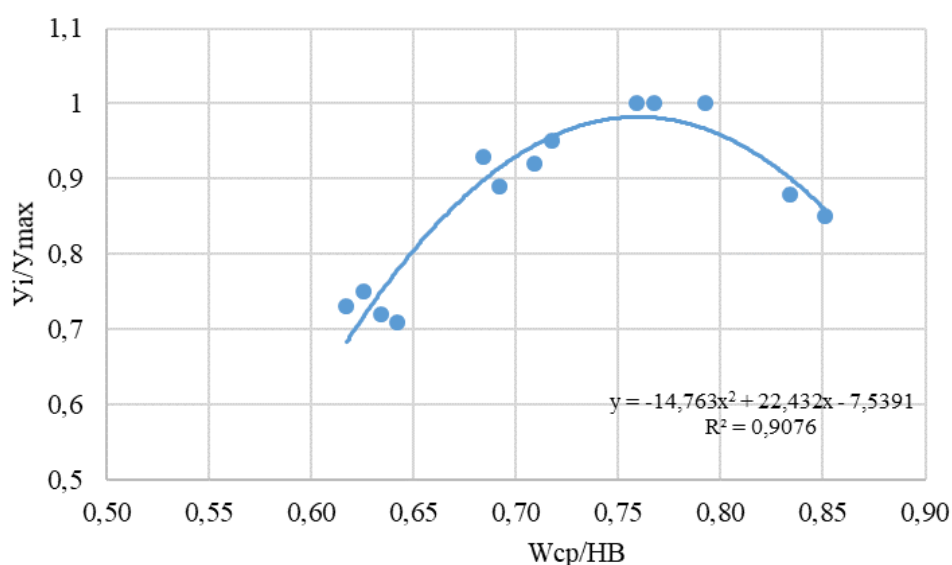


Рисунок 3.4 – Изменение относительной урожайности суданской травы от увлажнения почвы

На основе анализа литературных данных [109] и с учётом результатов собственных предварительных исследований по распространению корневой системы суданской травы на дерново-подзолистых суглинистых почвах, в качестве расчётного увлажняемого слоя был принят горизонт 0...40 см. Выбор данного интервала обоснован следующими соображениями:

- именно этот горизонт является наиболее чувствительным к изменениям влажности и определяет водообеспеченность растений в критические фазы развития;

- принятый слой согласуется с рекомендуемыми параметрами для кормовых культур на легкосуглинистых почвах в нормативных документах [109].

Таким образом, для всех вариантов опыта поливные нормы рассчитывались на глубину промачивания 0...40 см, что обеспечивает эффективное использование оросительной воды и минимизирует потери на глубинную фильтрацию.

3.4 Динамика влажности почвы и режим орошения суданской травы

Влагозапасы почвы на опытных участках в течение вегетационного периода претерпевают существенные изменения, обусловленные как метеорологическими условиями (количество и распределение осадков, температурный режим), так и биологическими особенностями суданской травы (фаза развития, интенсивность транспирации).

Для детального анализа изменения влагозапасов в расчётном слое 0...40 см на контрольном (неорошаемом) участке были систематизированы среднемесячные данные (таблица 3.15), а их графическая интерпретация приведена на рисунке 3.5.

Анализ таблицы 3.15 и рисунка 3.5 позволяет выделить следующие закономерности для 2020 года. В течение вегетационного периода влажность почвы на контрольном варианте варьировала в широком диапазоне – от 61,7 до 92,9 % НВ. Максимальные значения (до 92,9 % НВ) зафиксированы в мае, что обусловлено двумя факторами: во-первых, выпадением осадков, превысивших

Таблица 3.15 – Средняя влажность почвы в слое 0...40 см и климатические факторы за годы исследований

Годы	Месяцы	Средняя влажность почвы по вариантам, % от НВ			Осадки, мм		Среднесуточная температура воздуха, °С	
		Без орошения	70...80	80...90	Фактические	Средне многолетние	Фактическая	Средне многолетняя
2020	май	91,0	100,7	98,3	76,2	62,5	10,4	12,8
		105,7	107,5	105,2				
		96,0	93,7	94,6				
		88,7	87,8	87,8				
		97,3	97,3	97,3				
	июнь	80,2	79,3	81,1	139,4	70,9	19,0	16,4
		105,8	103,1	105,3				
		86,6	85,7	88,9				
	июль	88,7	88,3	87,0	51,0	83,6	17,3	18,5
		77,3	77,7	77,0				
		72,5	72,5	97,9				
		69,3	67,8	87,7				
			98,6	77,5				
	август	56,5	88,2	88,7	8,2	72,7	17,2	17,2
		54,0	81,0	83,8				
		75,1	95,1	96,8				
	сентябрь	83,8	102,3	103,1	60,6	51,8	13,8	11,8
		72,1	89,6	89,2				
		70,8	87,0	87,4				
2021	май	91,8	89,4	88,9	55,3	62,5	12,2	12,8
		105,9	105,0	103,6				
		96,0	92,4	94,2				
		90,9	89,6	89,1				
	июнь	78,4	77,1	77,1	22,2	70,9	19,2	16,4
		67,9	67,6	98,2				
		62,0	98,2	89,6				
			83,8	76,7				
			73,1	97,7				
				93,7				
	июль	55,8	67,3	77,4	74,5	83,6	22,1	18,5
		53,2	98,2	97,7				
		66,2	88,3	87,4				
		55,7	97,3	95,4				
			84,3	85,6				
	август		104,8	102,6	117,4	72,7	17,8	17,2
		79,1	94,6	90,0				
		64,7	97,2	97,7				
		68,8	86,9	91,0				
		58,3						

Продолжение таблицы 3.15

	сентябрь	68,3 59,0 66,9	97,7 87,8 94,9	95,4 87,8 95,5	101,9	51,8	9,6	11,8
2022	май	95,9 84,8 82,2 88,3	97,4 90,5 87,8 91,4	95,0 87,0 85,6 87,8	59,1	62,5	10,5	12,8
	июнь	85,2 76,9 72,6 88,7 79,5	89,6 81,5 73,9 91,0 82,8	84,8 77,0 98,2 85,1 100,1 88,3	87,2	70,9	18,4	16,4
	июль	75,5 83,3 69,7	73,9 79,7 66,9 97,7 83,3	85,6 92,8 76,6 98,2 86,5	67,0	83,6	18,0	18,5
	август	64,6 62,5 57,0	80,1 67,2 97,8 90,0	77,5 98,7 85,0 77,9 98,2	11,2	72,7	20,6	17,2
	сентябрь	54,3 59,9 77,4	84,0 86,8 97,0	87,0 90,1 95,9	84,7	51,8	9,8	11,8

средненоголетнюю норму на 18 %, во-вторых, высокой начальной влажностью почвы, сформировавшейся после снеготаяния и весеннего влагозаряда.

Минимальные значения влажности отмечены в первой и второй декадах августа, когда сумма осадков была незначительной, а испаряемость – максимальной. Снижение влагозапасов началось уже с первой декады июля и продолжалось до третьей декады августа. В этот период выпадавшие осадки не превышали 5 мм за декаду, что при высокой температуре воздуха и интенсивной транспирации культуры не обеспечивало пополнения почвенных влагозапасов.

Сложившийся дефицит влаги потребовал проведения оросительных мероприятий: на варианте с поддержанием влажности 70 % НВ был выполнен один полив, на варианте с 80 % НВ – два полива. Сроки и нормы поливов приведены в таблице 3.16. Это подтверждает, что даже в относительно благоприятный по

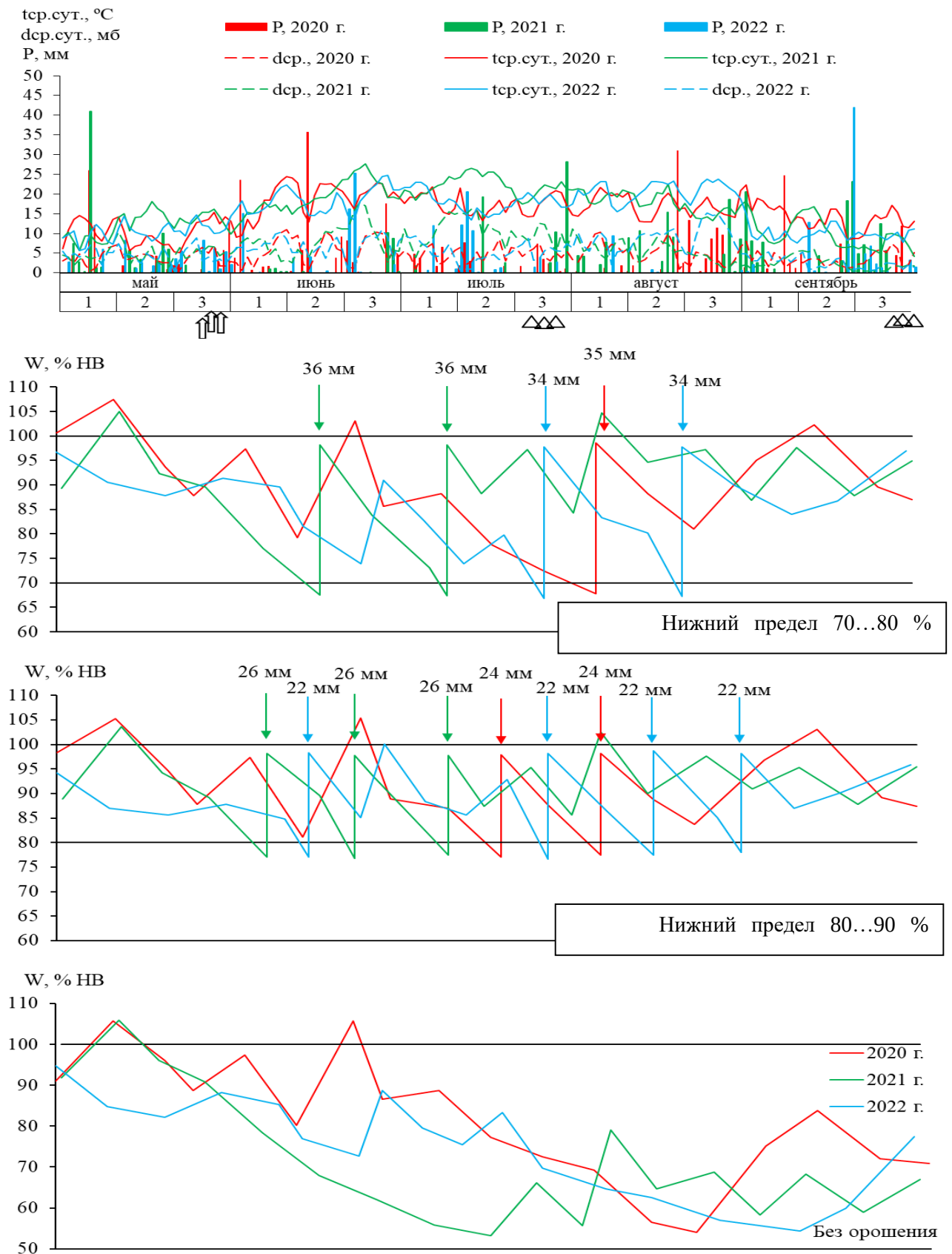


Рисунок 3.5 – Динамика средней влажности почвы в активном слое на посевах суданской травы и метеорологических показателей по вариантам опыта в 2020–2022 гг.

Таблица 3.16 – Элементы фактического режима орошения суданской травы за годы исследований

Варианты	Количество поливов	Поливная норма, мм	Оросительная норма, мм	Даты поливов
2020 год				
70...80 % НВ	1	35	35	31.07
80...90 % НВ	2	24	48	13.07; 31.07
2021 год				
70...80 % НВ	2	36	72	13.06; 06.07
80...90 % НВ	3	26	78	03.06; 19.06; 06.07
2022 год				
70...80 % НВ	2	34	68	22.07; 6.08
80...90 % НВ	4	22	88	10.06; 22.07; 10.08; 26.08

увлажнению год (2020) регулирование водного режима суданской травы без орошения невозможно, особенно в критические периоды (июль–август).

Начиная с конца августа и до второй декады сентября влажность почвы на всех вариантах опыта устойчиво возрастала благодаря выпадению значительного количества осадков (свыше 60 мм за период), что позволило частично компенсировать дефицит влаги, накопившийся в июле–августе. Однако в третьей декаде сентября количество осадков уменьшилось, и влажность почвы вновь начала снижаться. При этом на орошаемых вариантах (70 и 80 % НВ) влажность не опустилась ниже установленных пороговых значений, что свидетельствует о достаточности проведённых поливов для поддержания оптимального водного режима до завершения вегетации.

Суммарная оросительная норма за 2020 год составила 350 м³/га для варианта с поддержанием 70...80 % НВ и 480 м³/га для варианта с 80...90 % НВ. Разница в оросительных нормах (130 м³/га) обусловлена более частыми поливами на варианте с повышенным порогом влажности.

Анализ данных, представленных в приложении 13, позволяет проследить динамику влажности почвы в 2021 году. На контрольном (неорошаемом) варианте, как и в предыдущем сезоне, в первой декаде мая отмечено повышение влажности, связанное с весенним влагозарядом и таянием снежного покрова. Однако, в

отличие от 2020 года, этот начальный запас влаги оказался меньше, что предопределило более раннее наступление дефицита влаги в последующие месяцы.

Начиная со второй декады мая влажность почвы на контрольном варианте стала снижаться, со средней влажности за май месяц в 92,9 % до 58,1 % в августе месяце. Минимальная влажность наблюдалась в июле месяце и составила 52,3 %. Это обусловлено тем, что величины атмосферных осадков за этот период были незначительны. Так за май месяц выпало 88,5 % осадков от среднегодовой нормы, за июнь месяц 31,3 % за июль 89,1 % соответственно.

Сложившийся водный дефицит потребовал проведения оросительных мероприятий. На варианте с поддержанием влажности 70...80 % НВ было выполнено 2 полива с минимальным межполивным интервалом 23 суток; на варианте с 80...90 % НВ – 4 полива с интервалом 16 суток. Более частая кратность поливов на варианте с повышенным порогом увлажнения обусловлена необходимостью поддержания более высокого уровня влажности в корнеобитаемом слое.

Начиная с августа, влажность почвы на орошаемых вариантах стабилизировалась: значительных колебаний не наблюдалось, поскольку осадки в этот период выпадали равномерно (как по времени, так и по величине), что позволило поддерживать влагозапасы в пределах заданных порогов.

В 2022 году динамика влажности на контрольном варианте имела свои особенности. В начале мая влажность в слое 0–40 см составляла в среднем 87,4 % НВ – примерно такой же уровень был характерен и для орошаемых вариантов (88,1 % для 70 % НВ и 89,0 % для 80 % НВ). Дальнейшее снижение влажности (особенно в первой декаде июня) вызвало необходимость в первом поливе на варианте с 80 % НВ (дата указана в таблице 3.16).

Выпавшие осадки в третьей декаде июня и второй декаде июля привели к временному повышению влажности почвы. Однако последующее практическое отсутствие дождей (вплоть до третьей декады сентября) вновь вызвало снижение влагозапасов, что потребовало проведения двух поливов на варианте 70 % НВ (с минимальным межполивным интервалом 25 суток) и трёх поливов на варианте 80

% НВ (с интервалом 16 суток). В конце второй и третьей декад сентября выпали обильные осадки, которые обеспечили повышение влажности почвы до значений, близких к оптимальным (приложение 13).

Выводы

1. Проведённые исследования впервые количественно определили суммарное водопотребление суданской травы в условиях орошения для восточной части Беларуси. Установлено, что водопотребление напрямую зависит от режима орошения и температурных условий сезона. Разработанные на этой основе расчётные модели (уравнения 3.8-3.10) позволяют прогнозировать водопотребление для трёх вариантов.

2. Впервые для условий Беларуси установлены и систематизированы зональные биоклиматические коэффициенты суданской травы. Установлена связь динамики K_6 с циклами роста культуры до и после укосов.

3. Анализ трёхлетней динамики влажности почвы показал, что её изменения определяются комплексом факторов: количеством и распределением осадков, температурным режимом и фазой развития культуры. В засушливые периоды (июль–август) влажность на контрольном варианте снижалась до критических значений (52,3...61,7 % НВ), что требовало проведения поливов на орошаемых вариантах. Установлены следующие параметры режимов орошения:

– 70...80 % НВ – 1...2 полива за сезон, оросительная норма 35...72 мм, межполивной интервал 23...25 суток;

– 80...90 % НВ – 2...4 полива за сезон, оросительная норма 48...88 мм, межполивной интервал 16 суток.

Вариант с поддержанием 80 % НВ характеризуется более частыми, но меньшими по величине поливными нормами, что снижает риск образования поверхностного стока и обеспечивает более равномерное увлажнение корнеобитаемого слоя.

4. ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК И ВПИТЫВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВЫ ПРИ ДОЖДЕВАНИИ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ

4.1 Поверхностный сток при дождевании суданской травы

Изучению закономерностей формирования поверхностного стока при дождевании посвящены работы многих исследователей. В частности, в исследовании Т.Д. Лагун [80] обоснован методический подход, согласно которому оценка возможного поверхностного стока сводится к сравнению впитывающей способности почвы с параметрами искусственного дождя – его интенсивностью и продолжительностью. На основе выполненных расчётов автором установлено, что для почв северо-восточной зоны Беларуси с интенсивностью впитывания не менее 0,1 мм/мин суточные осадки до 11 мм не вызывают стока. При увеличении слоя осадков выше этого порога слой стока возрастает прямо пропорционально. Вероятность появления стока снижается с увеличением водопроницаемости почвы и уменьшением слоя выпадающих осадков.

В многолетних исследованиях Н.Н. Дубенка [37] разработаны теоретические и практические основы расчёта водосберегающих режимов орошения кормовых культур на землях со сложным рельефом Центрального района России. Автором получены эмпирические зависимости, позволяющие прогнозировать слой и скорость поверхностного стока в зависимости от уклона участка, поливных норм, интенсивности дождевания и площади листовой поверхности растений. Эти разработки создают научную основу для проектирования экологически безопасных режимов орошения, однако, как показано в главе 1, для условий дерново-подзолистых суглинистых почв восточной Беларуси подобные зависимости ранее не проверялись.

Для экспериментальной оценки величины поверхностного стока при орошении суданской травы в наших исследованиях были оборудованы стоковые площадки размером 2×5 м, ориентированные длинной стороной вдоль направления склона (схема приведена на рисунке 4.1). Выбор таких размеров площадок

обеспечивал репрезентативность измерений при минимальном краевом эффекте и позволял фиксировать сток как в начальной, так и в установившейся фазе.

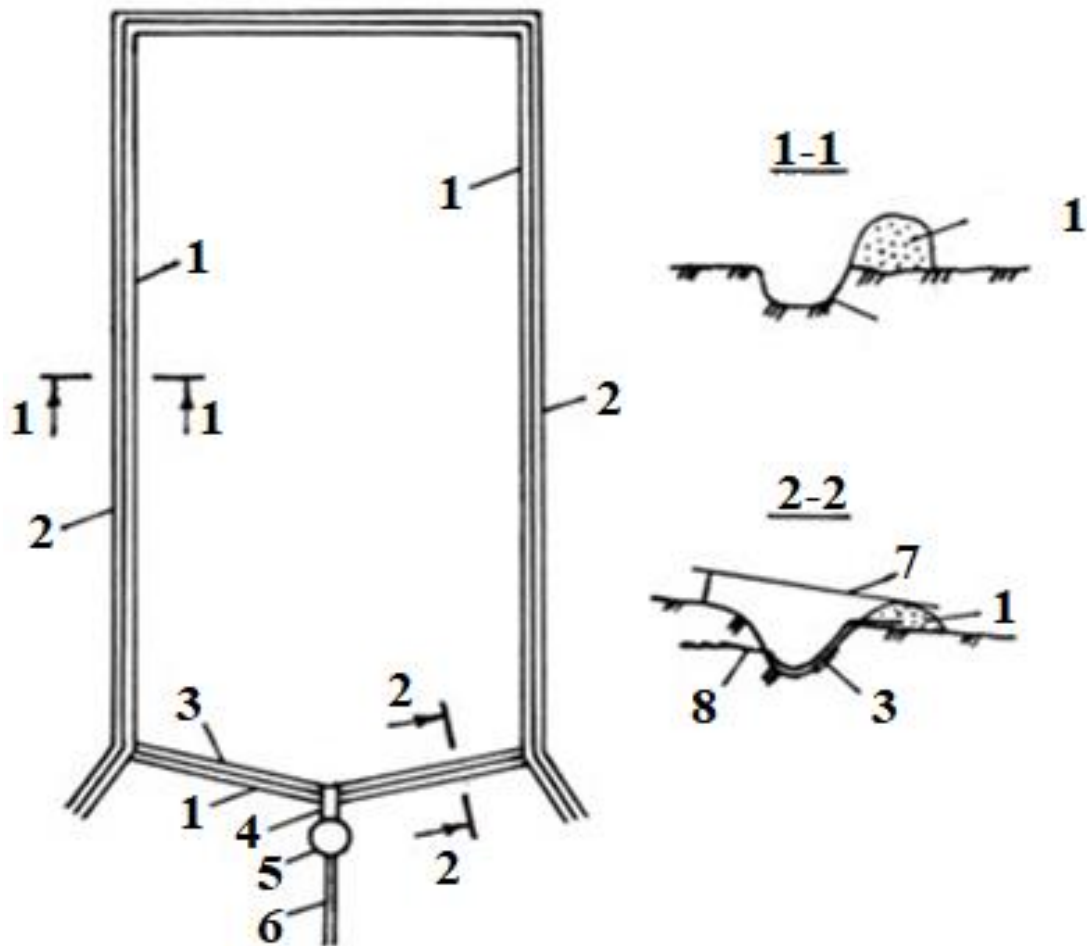


Рисунок 4.1 – Схема стоковой площадки: 1 – бортик площадки;
2 – водоотводящие канавки; 3 – водоприёмная канавка; 4 – водоподводящий лоток; 5 – измерительная ёмкость; 6 – сбросная канавка; 7 – защитный козырёк;
8 – полиэтиленовая плёнка.

Стоковая площадка представляет собой ограниченный от окружающей местности участок склона, оборудованный измерительными устройствами для учёта стекающей с его поверхности воды [147].

Как видно из рисунка 4.1 площадка имеет форму вытянутого пятиугольника. По контуру она ограждается бортиками. Этим достигается отвод воды, притекающей со смежной части склона, в сторону от площадки. Из водоприёмной канавки вода поступает в водоподводящий лоток и далее в мерную ёмкость. Бортики стоковых площадок устраивались земляными.

Водоприёмная канавка была покрыта полиэтиленовой плёнкой. Чтобы избежать утечки воды в месте сопряжения водоприёмной канавки с грунтом площадки, полиэтиленовая плёнка одним краем заводилась в грунт площадки.

Неотъемлемой частью водоприёмной канавки является прикрывающий её сверху козырёк, который служит для предохранения от попадания в неё осадков. Козырёк состоял из отдельных листов волнового шифера, перекрывающего друг друга. Для предохранения водоприёмной канавки от поступления в неё воды с рядом расположенных участков боковые бортики, ограничивающие площадку, были продолжены по склону на 0,5 м ниже водоприёмной канавки.

В качестве мерной ёмкости служили металлические баки объёмом 50...70 литров. Для отвода воды от мерной ёмкости служила сбросная канавка.

Полив опытных участков осуществлялся барабанно-шланговой дождевальная установка Bauer «Rainstar T-61», оснащённой сменными насадками диаметром 16, 22 и 30 мм, что позволяло создавать три градации интенсивности дождя – 0,21; 0,28 и 0,36 мм/мин (согласно данным [53, 54]). Дождевание проводилось при двух уровнях поливных норм – 30 и 40 мм, что соответствовало умеренному и повышенному водоподаче. Каждая комбинация факторов воспроизводилась в двух опытах с трёхкратной повторностью, что обеспечивало статистическую надёжность получаемых данных.

В ходе экспериментов изучалось совместное влияние на величину поверхностного стока следующих факторов:

- поливной нормы (30 и 40 мм);
- интенсивности дождя (0,21; 0,28; 0,36 мм/мин);
- уклона поверхности (0,003 и 0,006);

- площади листовой поверхности суданской травы (градации от «до 25 см²» до «более 130 см²» на растение).

Такой многофакторный подход позволил количественно оценить вклад каждого из перечисленных параметров в формирование стока и выявить условия, при которых сток минимизируется или полностью отсутствует.

Результаты исследований представлены в таблице 4.1, их графическая интерпретация представлена на рисунке 4.2. Анализ экспериментальных данных, представленных в таблице 4.1, позволяет количественно оценить влияние ключевых факторов на формирование поверхностного стока при дождевании суданской травы. При фиксированной интенсивности дождя увеличение уклона участка с 0,003 до 0,006 приводит к росту стока в 1,5 раза. Так, при поливной норме 30 мм и интенсивности 0,21 мм/мин сток возрастает с 4 до 6 мм. Это объясняется тем, что на более крутых склонах скорость стекания воды выше, а время контакта с почвой – меньше, что сокращает период впитывания.

При одинаковом уклоне и поливной норме повышение интенсивности дождевания с 0,21 до 0,36 мм/мин (увеличение в 1,7 раза) приводит к росту стока с 4 до 8 мм (увеличение в 2 раза). Это свидетельствует о том, что интенсивность дождя оказывает более сильное влияние на стокообразование, чем уклон, особенно на начальном этапе полива, когда впитывающая способность почвы ещё не исчерпана.

4.2 Исследование впитывающей способности почв опытного участка при дождевании

Впитывающая способность почвы является одной из ключевых водно-физических характеристик, определяющих как формирование запасов почвенной влаги, так и интенсивность поверхностного стока. Она имеет первостепенное значение при оценке эрозионной опасности территории, поскольку через неё устанавливаются размеры и коэффициенты стока талых и ливневых вод. Кроме

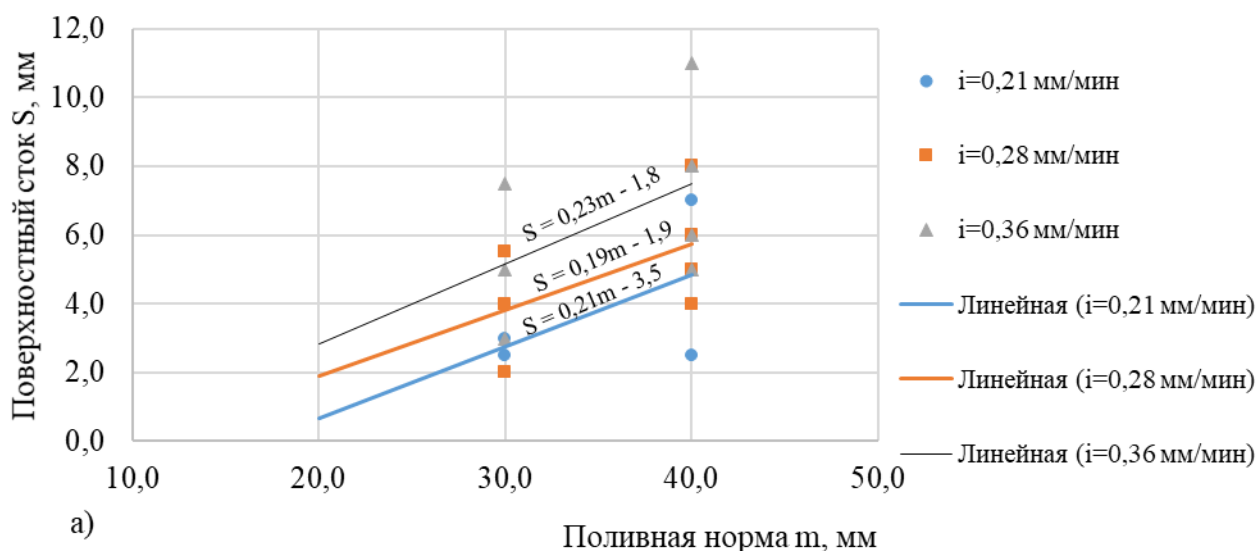
Таблица 4.1 – Поверхностный сток при дождевании суданской травы в зависимости от поливной нормы, интенсивности дождя, уклона участка и площади листовой поверхности, мм

Уклон участка	Диаметр насадка, мм	Интенсивность дождя, мм/мин	Поливная норма, мм	Время распределения поливной нормы, мин	Площадь листовой поверхности, см ²									
					До 25		25...60		60...100		100...130		Более 130	
					Средняя величина поверхностного стока, мм	Средняя глубина промачивания, см	Средняя величина поверхностного стока, мм	Средняя глубина промачивания, см	Средняя величина поверхностного стока, мм	Средняя глубина промачивания, см	Средняя величина поверхностного стока, мм	Средняя глубина промачивания, см	Средняя величина поверхностного стока, мм	Средняя глубина промачивания, см
0,003	16	0,21	30	140	4	29	2	28	-	28	-	27	-	26
	22	0,28		107	6	27	4	27	2	26	-	26	-	25
	30	0,36		80	8	26	5	25	3	24	-	24	-	24
0,006	16	0,21	30	140	6	27	4	26	1	25	-	25	-	24
	22	0,28		107	8	25	6	24	3	24	-	23	-	22
	30	0,36		80	9	24	7	24	4	23	2	23	-	22
0,003	16	0,21	40	190	7	34	5	33	2	33	-	32	-	31
	22	0,28		142	8	33	6	33	4	32	2	32	-	30
	30	0,36		110	11	32	8	31	6	31	3	30	-	29
0,006	16	0,21	40	190	8	33	7	33	4	32	2	30	-	30
	22	0,28		142	10	31	7	30	5	29	3	28	-	28
	30	0,36		110	13	30	9	29	7	28	5	27	2	27

при $i = 0,36$ мм/мин $НСР_{0,5\%}=3,1$; средняя ошибка опыта 1,3;

при $i = 0,28$ мм/мин $НСР_{0,5\%}=3,6$; средняя ошибка опыта 1,8;

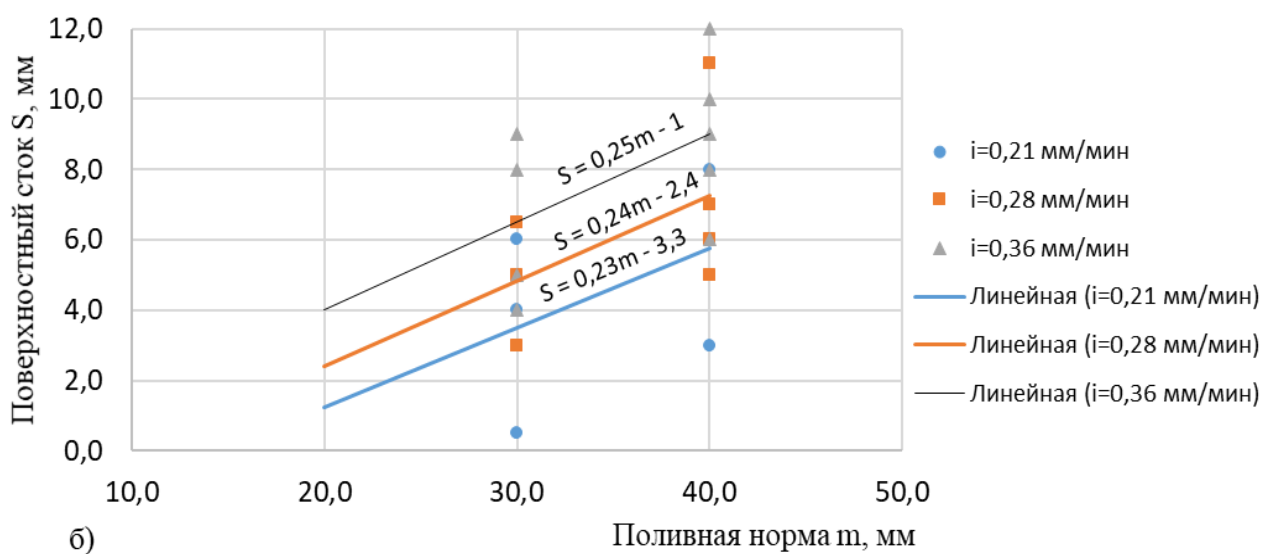
при $i = 0,21$ мм/мин $НСР_{0,5\%}=3,2$; средняя ошибка опыта 1,4.



при $i = 0,36$ мм/мин $НСР_{0,5\%} = 3,1$; средняя ошибка опыта 1,3;

при $i = 0,28$ мм/мин $НСР_{0,5\%} = 3,6$; средняя ошибка опыта 1,8;

при $i = 0,21$ мм/мин $НСР_{0,5\%} = 3,2$; средняя ошибка опыта 1,4.



при $i = 0,36$ мм/мин $НСР_{0,5\%} = 2,8$; средняя ошибка опыта 1,5;

при $i = 0,28$ мм/мин $НСР_{0,5\%} = 4,1$; средняя ошибка опыта 2,1;

при $i = 0,21$ мм/мин $НСР_{0,5\%} = 3,7$; средняя ошибка опыта 1,6.

Рисунок 4.2 – Величина поверхностного стока в зависимости от поливных норм, интенсивности дождя, уклона поверхности: а). уклон 0,003; б). уклон 0,006.

того, этот показатель учитывается при определении достоевой поливной нормы – максимальной интенсивности дождя, при которой вода полностью впитывается без образования стока.

В процессе впитывания воды почвой традиционно выделяют две последовательные фазы: поглощение – поступление воды в ненасыщенный влагой почвогрунт, и фильтрацию, которая характеризуется коэффициентом фильтрации (установившейся скоростью движения воды в насыщенной почве).

Методы изучения впитывающей способности могут быть разделены на две группы: основанные на сплошном затоплении почвы (заливаемые площадки, кольца) и имитирующие естественные осадки (искусственное дождевание). Методы затопления дают, как правило, завышенные значения водопроницаемости, поскольку не учитывают разрушающего действия капель дождя на поверхность почвы. Более реальную картину даёт метод искусственного дождевания, приближающий условия эксперимента к природным.

При дождевании впитывающая способность зависит от комплекса факторов: начальной влажности почвы, микрорельефа, наличия и высоты растительного покрова, а также параметров дождя – его интенсивности, продолжительности и крупности капель. В совокупности эти факторы определяют величину ливневого стока и интенсивность эрозионных процессов.

Для экспериментального изучения водопроницаемости почв в условиях, приближенных к естественным, нами была изготовлена малая дождевальная установка (МДУ) по методике, разработанной в ГГИ [92]. Конструкция прибора (рисунок 4.3) включает дождеватель, каплеобразователи, рассеивающую сетку и опорные стойки.

Основные технические параметры установки:

- площадь дождевания – 0,5 м²;
- диаметр отверстий в дне прибора (под каплеобразователи) – 2,5 мм, расстояние между отверстиями – 5 см;
- диаметр каплеобразователей – 2,5 мм;

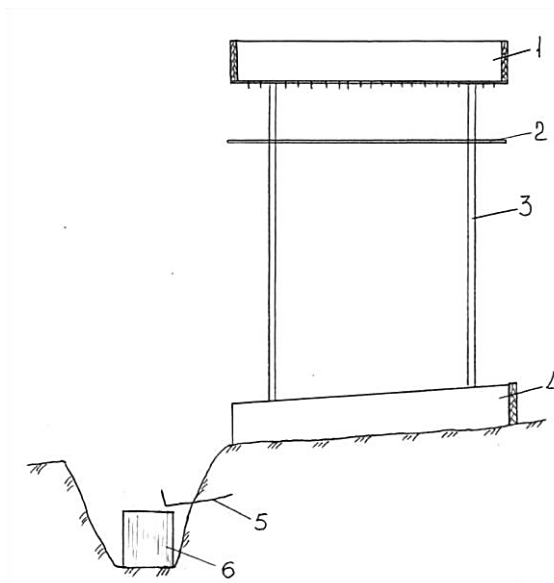


Рисунок 4.3 – Схема дождевальной установки: 1 – дождеватель;
2 – рассеивающая сетка; 3 – стойки; 4 – ограждение площадки;
5 – водоприёмный лоток; 6 – мерный сосуд

- интенсивность дождевания – регулируемая, от 0,2 до 4,7 мм/мин (постоянная или переменная);
- высота установки над поверхностью почвы – 1,5 м (выбрана для имитации естественного дождя);
- вес установки – 6,6 кг, что обеспечивает её мобильность и удобство работы в полевых условиях (обслуживание возможно силами двух человек).

Для повышения равномерности распределения капель под дождевателем устанавливалась нейлоновая сетка с размером ячеек $1,2 \times 1,2$ мм. Интенсивность дождя регулировалась изменением уровня воды в приборе. Перед началом опыта площадка ограждалась по периметру, а при ветреной погоде использовался защитный полог.

Участок для проведения экспериментов имел те же почвенные и рельефные условия, что и стоковые площадки: дерново-подзолистая слабоподзоленная почва на лёгком мореном суглинке, пахотный горизонт – тёмно-серый, пылевато-суглинистый, комковато-уплотнённый.

В ходе экспериментов установлено, что с увеличением интенсивности дождя с 1 до 2 мм/мин продолжительность фазы аккумуляции (появления луж на поверхности) сокращается с 5 до 2 минут, а время до начала фазы поверхностного стока – с 9 до 5 минут. Это подтверждает, что повышение интенсивности ускоряет насыщение верхнего слоя почвы и приближает момент возникновения стока. Необходимо отметить, что поверхность почвы не была предварительно разрыхлена, что соответствовало условиям реальных полей после выпадения осадков.

Показатель свободного (безнапорного) впитывания, численно равный достокровой поливной норме при интенсивности дождя 1 мм/мин, определялся для каждого варианта опыта. Результаты обработки данных по влиянию уклона и состояния поверхности на время образования стока приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Показатели впитывания почвы при непрерывном дождевании интенсивностью 1 мм/мин в зависимости от уклона и состояния поверхности

Показатели		Уклон 0,003		Уклон 0,006	
		С рыхлением	Без рыхления	С рыхлением	Без рыхления
Средние значения продолжительности (τ , мин) до образования поверхностного стока		19	13	12	8
Скорость впитывания к концу, мин	20	0,62	0,38	0,36	0,32
	60	0,25	0,23	0,23	0,22

Анализ данных таблицы 4.2 позволяет сделать следующие выводы:

- на участке с меньшим уклоном (0,003) средняя продолжительность до образования стока составляет 13 минут на не разрыхлённой поверхности и 19 минут – на поверхности с рыхлением;
- с увеличением уклона до 0,006 это время сокращается до 8 и 12 минут соответственно, что свидетельствует о значительном влиянии крутизны склона на скорость стокообразования;

- скорость впитывания к концу 60-й минуты стабилизируется на уровне 0,22...0,25 мм/мин, что характеризует установившуюся фильтрационную способность исследуемой почвы.

Графической интерпретация данных, полученных при исследовании впитывания при дождевании представлена на рисунке 4.4.

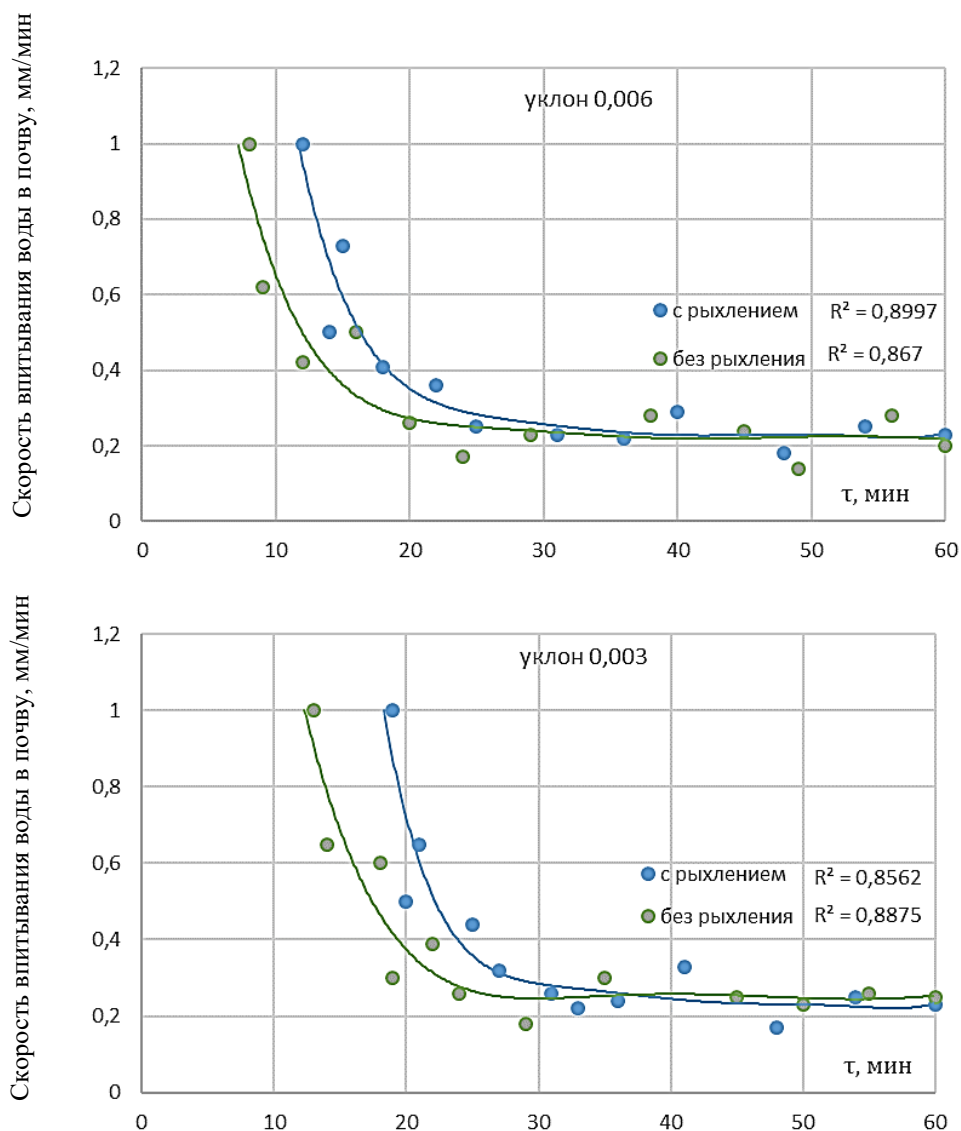


Рисунок 4.4 – Динамика скорости впитывания воды в дерново-подзолистую суглинистую почву при непрерывном дождевании интенсивностью 1 мм/мин для уклонов 0,003 и 0,006

Полученное значение скорости впитывания (0,22...0,25 мм/мин) было использовано нами в качестве критерия при выборе допустимой интенсивности

дождя для разрабатываемой конструкции дождевальной насадки (см. главу 5). Это обеспечивает эрозионно-безопасный режим полива, при котором интенсивность дождя не превышает фактическую впитывающую способность почвы.

Выводы

1. Установлено, что величина поверхностного стока при дождевании суданской травы определяется комплексом факторов, среди которых ведущая роль принадлежит интенсивности дождя и уклону участка. При фиксированной поливной норме 30 мм увеличение уклона с 0,003 до 0,006 приводит к росту стока в 1,5 раза (с 4 до 6 мм при интенсивности 0,21 мм/мин). Повышение интенсивности дождевания с 0,21 до 0,36 мм/мин при одинаковом уклоне вызывает увеличение стока в 2 раза (с 4 до 8 мм). Совместное действие факторов (максимальная интенсивность 0,36 мм/мин, уклон 0,006, поливная норма 40 мм) обеспечивает наибольшие значения стока – 9...13 мм.

2. Экспериментально подтверждена регулирующая роль листового аппарата суданской травы в перехвате дождевых капель и снижении поверхностного стока. Установлено, что с увеличением площади листовой поверхности от менее 25 до более 130 см² на растение сток уменьшается пропорционально, а при площади свыше 130 см² он практически отсутствует. Этот эффект объясняется тремя механизмами: механическим перехватом части капель листьями, снижением кинетической энергии падающих капель и уменьшением скорости водного потока за счёт растительных преград. Полученные данные подтверждают, что в фазы максимального развития (выметывание метёлки) суданская трава сама выступает в роли естественного фактора регулирования стока.

3. Показатель свободного (безнапорного) впитывания, численно равный достаточной поливной норме при интенсивности дождя 1 мм/мин, закономерно уменьшается с увеличением уклона и зависит от состояния поверхности. На

площадках с рыхлением показатель снижается с 19 мм (уклон 0,003) до 12 мм (уклон 0,006). На площадках без рыхления – с 13 до 8 мм соответственно.

Анализ динамики скорости впитывания показал, что к концу 20-й минуты дождевания скорость уменьшается: с 0,62 до 0,38 мм/мин (уклон 0,003) и с 0,36 до 0,32 мм/мин (уклон 0,006). К концу 60-й минуты скорость впитывания стабилизируется на уровне 0,22...0,25 мм/мин (горизонтальный участок кривой на рисунке 4.4), что соответствует установившейся фильтрационной способности исследуемой почвы. Отсутствие значительных изменений скорости на этом этапе свидетельствует о достижении постоянного режима фильтрации.

4. Полученное значение установившейся скорости впитывания (0,22...0,25 мм/мин) использовано в качестве критерия для выбора допустимой интенсивности дождя при разработке конструкции мелкодисперсного дождевального насадка (глава 5). Для минимизации стока и предотвращения эрозионных процессов на дерново-подзолистых суглинистых почвах восточной части Беларуси рекомендуется: применять интенсивность дождя не более 0,21...0,28 мм/мин; учитывать фазовое развитие культуры: при достижении площади листовой поверхности более 130 см² допустима интенсивность дождя до 0,36 мм/мин без риска образования стока.

5. Представленные сведения и анализ данных других авторов показали несоответствие интенсивности искусственного дождя (0,25...0,35 мм/мин) создаваемого дальнеструйным дождевателем SR-140 (установка Bauer Rainstar T-61), диаметром капли от 0,1 до 2,3 мм и установившейся скоростей впитывания воды почвой (0,22...0,25 мм/мин), что послужило причиной появления поверхностного стока на опытном участке, а также частичным полеганием посевов суданской травы при работе дальнеструйного дождевателя, особенно в начальной стадии роста культуры. Это явилось основанием для разработки дождеобразующего устройства, обеспечивающего интенсивность искусственного дождя, не превышающую скорость впитывания почвы, и формирующим преимущественно мелкодисперсный дождь с высокими показателями равномерности распределения.

5. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ НАСАДКИ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА

5.1 Обзор и анализ существующих конструкций дождевальных устройств

Урожайность сельскохозяйственных культур и сохранение плодородия почвы при орошении дождеванием в значительной мере зависят от технических характеристик, применяемых дождевателей – равномерности распределения воды, интенсивности дождя, крупности капель и ветроустойчивости факела. Современные требования к дождевальным устройствам [1, 9, 14, 132, 140, 149] включают:

- обеспечение равномерного распределения воды по орошаемой площади;
- формирование эрозионно-безопасного дождя с интенсивностью, не превышающей впитывающую способность почвы;
- исключение значительного уплотнения и разрушения верхнего слоя почвы;
- минимизацию потерь воды на испарение и снос ветром;
- возможность работы с жидкими удобрениями и химикатами.

По способу создания искусственного дождя дождеватели подразделяются на два основных типа: дефлекторные (отражательные) насадки и струйные аппараты. В струйных аппаратах дробление струи на капли происходит в полёте за счёт аэродинамического сопротивления и турбулентности; их конструктивное разнообразие определяется главным образом механизмом вращения.

Наибольшее распространение в мелиоративной практике получили средне- и дальнеструйные дождевальные аппараты с различными механизмами вращения.

Аппараты с коромысловым механизмом (рисунок 5.1) работают по следующему принципу: струя воды, выходящая из сопла, ударяет в лопатку коромысла, поворачивая его на 30–90° и закручивая возвратную пружину. При обратном ходе пружина возвращает коромысло, которое ударом поворачивает ствол аппарата на 2–3°. Цикл повторяется с частотой, обеспечивающей вращение ствола. Классическим представителем данного типа является аппарат «Роса-3».

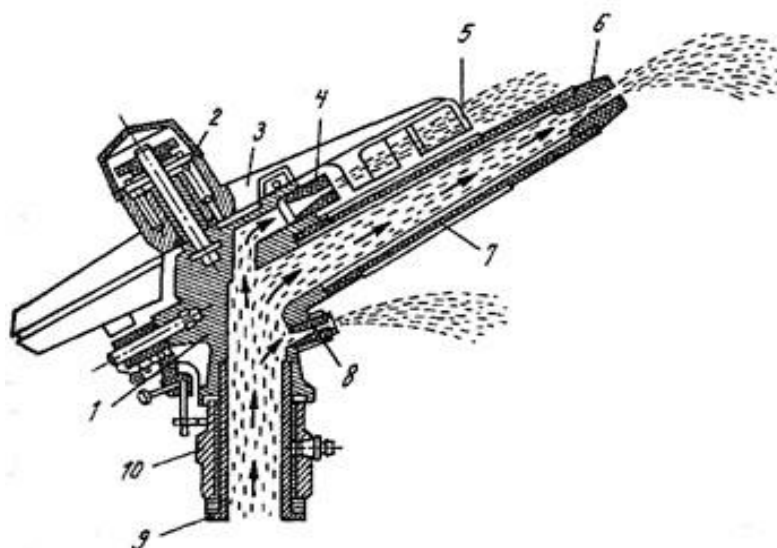


Рисунок 5.1 – Среднеструйный дождевальный аппарат «Роса-3»: 1 – корпус; 2 – пружина; 3 – коромысло; 4, 6, 8 – сопла; 5 – лопатка рассекающий; 9 – стакан; 10 – патрубок

Реактивные (безударные) аппараты (рисунок 5.2) используют принцип сегнера колеса: вращение осуществляется за счёт горизонтальной составляющей реактивной силы при выходе струи из изогнутого ствола.

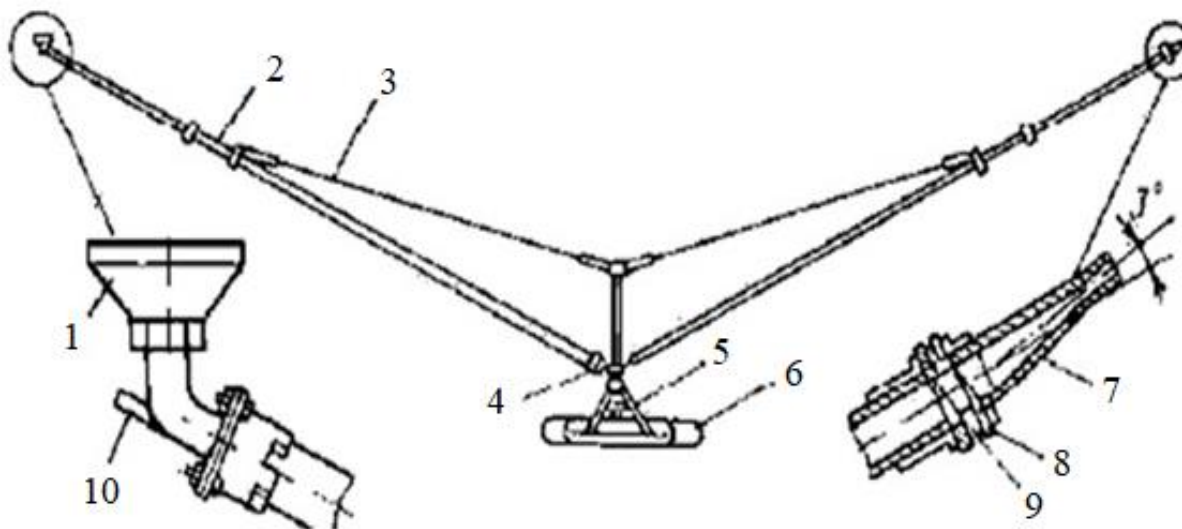


Рисунок 5.2 – Карусельный дождеватель «Тимирязевец»: 1 - дефлекторная насадка; 2 - ствол; 3 - растяжка; 4 - корпус дождевателя; 5 - основание; 6 – труба шлейфа; 7 - сопло; 8 - переходник; 9 - косая шайба; 10 - дополнительное сопло

Асимметрия сопла (смещение оси на 3°) создаёт реактивный момент, достаточный для вращения с частотой 0,5...1 об/мин. К этому типу относятся аппараты ДН-1(конструкции АзНИИГиМ) и карусельный дождеватель «Тимирязевец». Преимущество реактивных аппаратов – отсутствие соударяющихся механических частей, что повышает надёжность; недостаток – искривление струи на выходе, снижающее дальность полёта.

Аппараты с турбинным приводом (рисунок 5.3) имеют гидравлическую турбинку, установленную перед соплом. Частичное введение лопаток турбинки в струю обеспечивает их вращение с частотой до 5000 об/мин; через червячный редуктор вращение передаётся на механизм поворота ствола. Регулировкой глубины входа лопаток в струю можно изменять скорость вращения. При работе турбинка отсекает часть струи, что улучшает равномерность распределения воды вдоль радиуса полива. Типичным представителем являются дальнеструйные аппараты, устанавливаемые на барабанно-шланговых дождевателях.

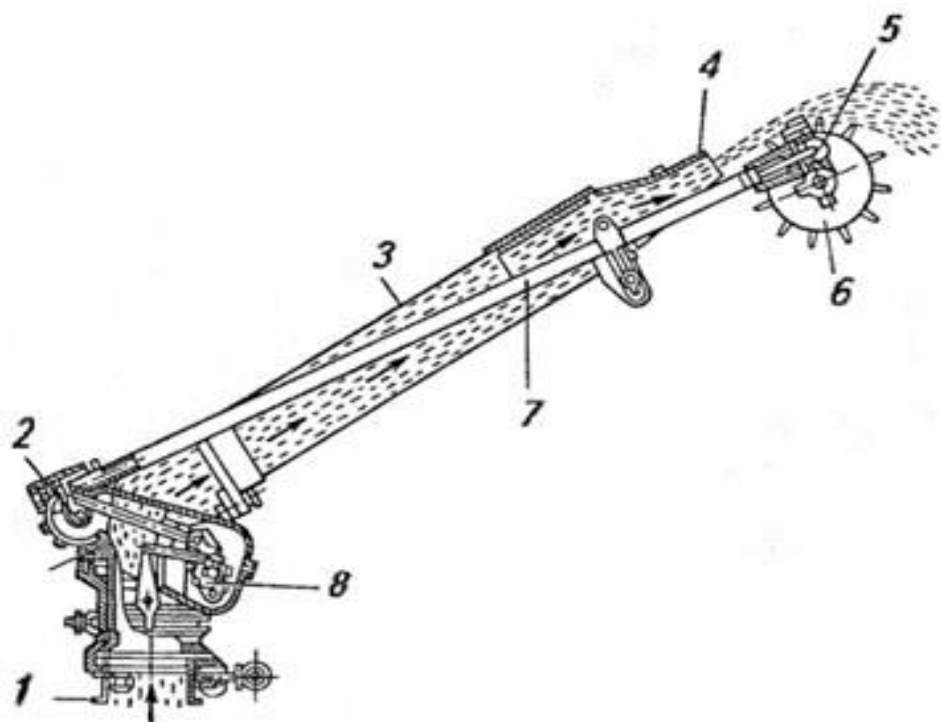


Рисунок 5.3 – Дальнеструйный дождевальный аппарат: 1 – стакан; 2; 5 – передача; 3 – ствол; 4 – сопло; 6 – турбинка; 7 – вал; 8 – механизм поворота

В дефлекторных насадках (рисунок 5.4) струя воды, выходящая из сопла, ударяется о дефлектор (конусную или чашеобразную поверхность), разбивается на капли и распределяется в виде полого конуса. Основные параметры таких насадок – угол конуса дефлектора, диаметр сопла и высота установки – определяют интенсивность и радиус дождя. Дефлекторные насадки отличаются простотой конструкции, малой металлоёмкостью и способностью формировать мелкодисперсный дождь, однако их недостатком часто является неравномерное распределение воды по площади полива.

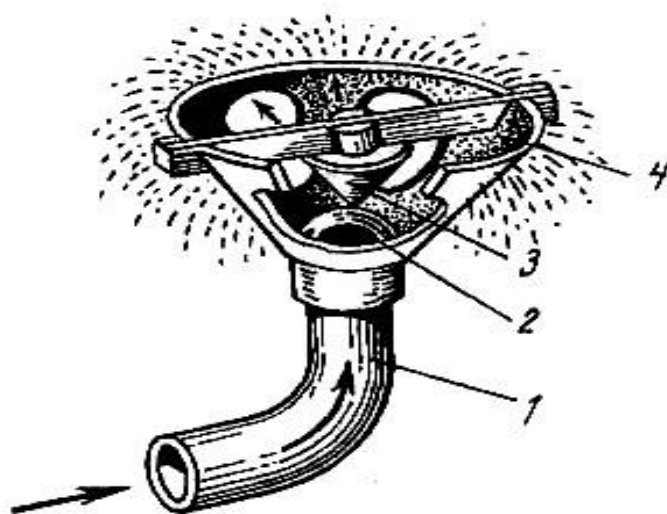


Рисунок 5.4 – Короткоструйная дефлекторная насадка с конусным распылителем:

1 – труба; 2 – сменное сопло; 3 – дефлектор; 4 – корпус

В современном орошении активно применяются барабанно-шланговые дождевальные установки (БШДУ), которые обеспечивают высокую мобильность и низкие трудовые затраты. В наших исследованиях использовалась установка Вауер «Rainstar T-61»; в Республике Беларусь также выпускаются аналоги – УД-2500 (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»), ПДМ-2500 и ПДМ-3000 (ОАО «Гомельский радиозавод»).

Сравнительный анализ технических характеристик (таблица 5.1) показывает, что все перечисленные машины оснащены дальнеструйными дождевателями и имеют близкие параметры: рабочая ширина захвата от 62 до 90 м, длина

трубопровода до 400...700 м, рабочее давление 0,3...0,5 МПа. Основное отличие – расход воды (от 17 до 85 м³/ч) и скорость движения распылителя (8...150 м/ч).

Таблица 5.1 – Технические характеристики шланговых дождевателей.

Показатель	Шланговые дождеватели			
	Bauer «Rainstar» T-61	УД-2500	ПДМ-2500	ПДМ-3000
Рабочая ширина захвата	До 80 м	До 90 м	До 70 м	До 62 м
Рабочая длина захвата	До 350 м	До 400 м	До 400 м	До 700 м
Рабочее давление на гидротурбину, МПа (атм): минимальное максимальное	0,35 (3,5) 1,1 (11)	0,3 (3) 1,2 (12)	0,4 (4) 1,2 (12)	0,5 (5) 1,2 (12)
Дождеобразующее устройство	Дальнеструйный дождеватель	Дальнеструйный дождеватель	Дальнеструйный дождеватель	Дальнеструйный дождеватель
Расход воды, м³/ч	от 17 до 69	До 50	До 60	от 50 до 85
Скорость движения распылителя, м/ч	8-120	10-150	10-150	30-120

Исследования В.М. Лукашевича [53, 54, 86], выполненные на дождевателе SR-140 установки Bauer Rainstar T-61, показали, что благодаря рассекателю струя воды распадается на капли диаметром от 0,1 до 2,3 мм, однако распределение капель по радиусу неравномерно: с увеличением расстояния от аппарата размер капель возрастает, достигая максимума на 0,7...0,8 радиуса полива.

Анализ патентной литературы выявил ряд конструктивных решений, направленных на улучшение качества дождевания.

В патенте [111] предложена конструкция насадка с дефлектором в виде вогнутой чаши с переменным сечением отсеков и регулируемым положением дефлектора относительно сопла. Недостатком является сложность конструкции и недостаточное качество разбрызгивания.

В патенте [112] дефлектор выполнен в виде чаши с лопастным контуром, а внутри корпуса установлен шнековый направитель потока. Однако правосторонняя

направленность витков создаёт потери скоростного напора и снижает дальность полёта струи.

Наиболее близким к разрабатываемой конструкции является устройство по патенту [113], содержащее винтовой направитель внутри корпуса и дефлектор в виде вогнутой чаши. Его недостатки – повышенные гидравлические сопротивления в межлопастном пространстве и недостаточное дробление потока, что ограничивает получение мелкодисперсного дождя.

Анализ также показал, что известная роторная насадка Senninger UP3 [31], несмотря на хорошую равномерность полива, характеризуется значительными энергетическими затратами и чрезмерной турбулизацией потока, что ограничивает её применение на почвах с низкой водопроницаемостью.

Таким образом, существующие конструкции либо не обеспечивают мелкодисперсного дождевания с интенсивностью ниже скорости впитывания почвы (особенно на легкосуглинистых почвах), либо имеют повышенные гидравлические потери и ограниченные возможности регулирования радиуса полива. Это определило необходимость разработки новой конструкции дождевальной насадки, отвечающей следующим требованиям:

- формирование мелкодисперсного дождя с интенсивностью, не превышающей 0,22...0,25 мм/мин (скорость впитывания дерново-подзолистых суглинков);
- возможность регулирования радиуса полива и адаптации к различным давлениям;
- простота конструкции и надёжность в эксплуатации.

Разработанная конструкция представлена в разделе 5.2, а результаты её испытаний – в разделах 5.3–5.4.

5.2 Описание конструкции предложенной дождевальной насадки

На основе анализа существующих конструкций (раздел 5.1) и с учётом выявленных недостатков (неравномерность полива, повышенная интенсивность

дождя, ограниченные возможности регулирования) была разработана новая конструкция мелкодисперсного дождевального насадка, защищённая патентом РФ № 2852370 [114]. Основная цель разработки – повышение качества искусственного дождя за счёт создания мелкодисперсного дождевания с интенсивностью, не превышающей впитывающую способность дерново-подзолистых суглинистых почв (0,22...0,25 мм/мин).

Разработанный насадок (рисунок 5.5) состоит из следующих основных элементов:

- корпус 1 с внутренней резьбой для крепления к водоподводящему трубопроводу;
- диффузор с соплом 2, закреплённый на корпусе;
- конус дефлектора 3, жёстко закреплённый в центре крестовины внутри диффузора;
- нижний отражательный диск 4, сопряжённый с крестовиной;
- верхний отражательный диск 5 с кольцевой выемкой и радиальными канавками, зафиксированный с возможностью регулировки высоты относительно конуса дефлектора.

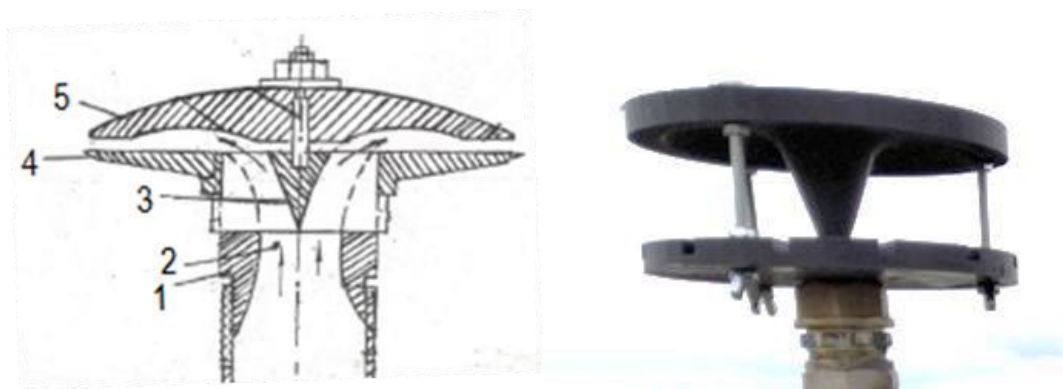


Рисунок 5.5 – Крепление дефлектора к нижнему диску:

1 – корпус; 2 – диффузор с соплом; 3 – конус дефлектора; 4 – нижний отражательный диск; 5 – верхний отражательный диск.

Крепление дефлектора к нижнему диску осуществляется посредством резьбовых штифтов, что позволяет регулировать зазор между дисками в зависимости от требуемого расхода воды и рабочего давления.

В разработанной конструкции реализованы следующие технические решения:

1. Двухдисковая отражательная система. Верхний отражательный диск выполнен с кольцевой выемкой по дуге окружности и отбортовкой в концевой части (рисунок 5.6), что обеспечивает направленный сход воды в виде равномерного веера. Кроме того, на рабочей поверхности диска выполнены радиальные канавки (прямолинейные, достигающие до края диска), которые способствуют дроблению потока на отдельные струйки и улучшают распыл.

2. Регулируемый зазор между дисками. Верхний диск зафиксирован посредством болтового соединения с возможностью взаимного сближения относительно основания конуса дефлектора. Это позволяет оперативно изменять площадь проходного сечения и, соответственно, регулировать расход воды и дальность полёта струи без замены насадки.

3. Оптимизированная геометрия конуса дефлектора. Исследовались три варианта угла вершины конуса – 40, 80 и 120° (таблица 5.2, рисунок 5.6). Как показали предварительные испытания, оптимальным является угол 120° (вариант 3), обеспечивающий наилучшее сочетание мелкодисперсности и равномерности распределения.

4. Материалы исполнения. Корпус и отражательные диски могут быть изготовлены из высокопрочного пластика или полиэтилена, что снижает вес конструкции, исключает коррозию и упрощает серийное производство.

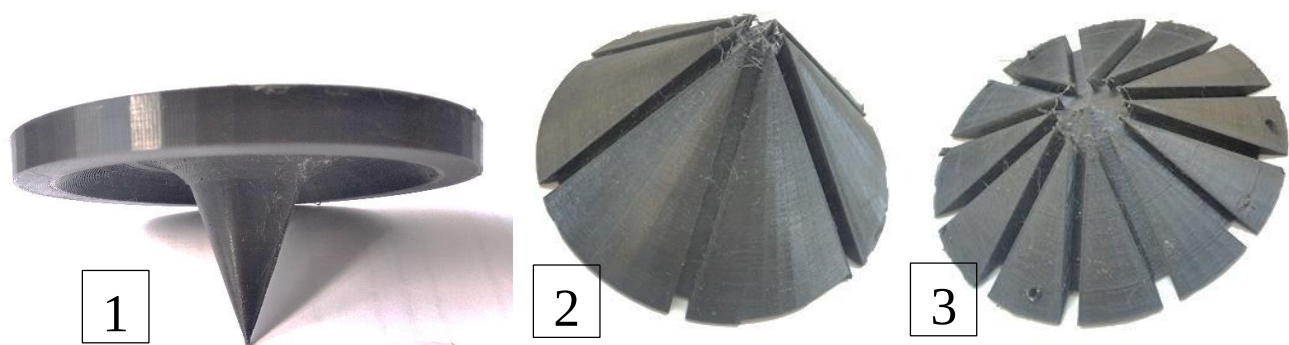


Рисунок 5.6 – Варианты дефлектора дождевальной насадки.

Таблица 5.2 Характеристики предложенных вариантов дождевальной насадки

№ варианта дефлектора дождевальной насадки	Диаметр нижнего и верхнего отражательного диска, мм	Характеристика конуса дефлектора		Размер канавки В×Ш, мм
		Угол вершины конуса, град.	Диаметр, основания конуса, мм	
1	120	40	30	5×5
2	120	80	120	7×5
3	120	120	120	8×5

Разработанный насадок работает следующим образом (рисунок 5.5).

Оросительная вода под рабочим давлением поступает по водоподводящему трубопроводу в корпус 1 насадка и далее – в диффузор с соплом 2. В полости сопла поток воды встречает жёстко закреплённый конус 3, который равномерно распределяет его по кольцевому зазору между конусом и стенками сопла, преобразуя осевой поток в кольцевой.

Далее вода направляется к верхнему отражательному диску 5, имеющему кольцевую выемку и радиальные канавки. При ударе о поверхность диска поток разбивается на множество сжатых струек, которые проходят через канавки и сбрасываются с отбортовки диска в атмосферу в виде веерообразного факела. На этом этапе происходит основное дробление струи на мелкие капли.

Для предотвращения перелива воды через края дисков при значительном падении давления предусмотрен нижний отражательный диск 4. Он улавливает избыточную воду и направляет её на периферию, исключая размывание почвы в приствольной зоне и повышая равномерность распределения по радиусу.

В зависимости от требуемого радиуса полива регулируется зазор между дисками (путём перемещения резьбовых штифтов) и, при необходимости, заменяется сопло. Расчётные значения угла конуса дефлектора, диаметров дисков и размеров канавок для трёх исследованных вариантов приведены в таблице 5.2.

По сравнению с известными аналогами [111–113] предложенная конструкция обеспечивает:

- мелкодисперсное дождевание (средний диаметр капель 0,54...1,86 мм), не повреждающее листовую поверхность и не уплотняющее почву;
- интенсивность дождя 0,21...0,24 мм/мин, что не превышает скорость впитывания дерново-подзолистых суглинков (0,22...0,25 мм/мин);
- регулируемый радиус полива (11...15 м в зависимости от давления и диаметра сопла) без замены насадки;
- высокую равномерность распределения (коэффициент Христиансена 75...85 % в оптимальном диапазоне давлений);
- возможность подачи с поливной водой жидких удобрений и химикатов без риска засорения.

Таким образом, разработанная конструкция полностью соответствует требованиям, предъявляемым к устройствам для экологически безопасного дождевания на почвах с ограниченной водопроницаемостью. Результаты экспериментальных исследований насадки представлены в разделах 5.3 и 5.4.

5.3 Методика экспериментальных исследований качественных показателей искусственного дождя разработанной насадки

В ходе испытаний разработанной дождевальной насадки определялись следующие основные показатели качества искусственного дождя:

- интенсивность дождя в зависимости от напора;
- диаметр капель дождя;
- равномерность распределения дождя по площади орошения.

Схема установки для испытаний приведена на рисунке 5.7.

Дождевальная насадка устанавливалась на вертикальной стойке на высоте 2,0 м от поверхности земли, что соответствует агротехнической высоте размещения дождевателей при поливе суданской травы. Установка включала:

- напорный трубопровод 1 с регулирующей задвижкой 2 для изменения давления;
- манометр 3 для контроля давления перед насадкой;

- дефлекторную насадку 4, закреплённую на стойке.

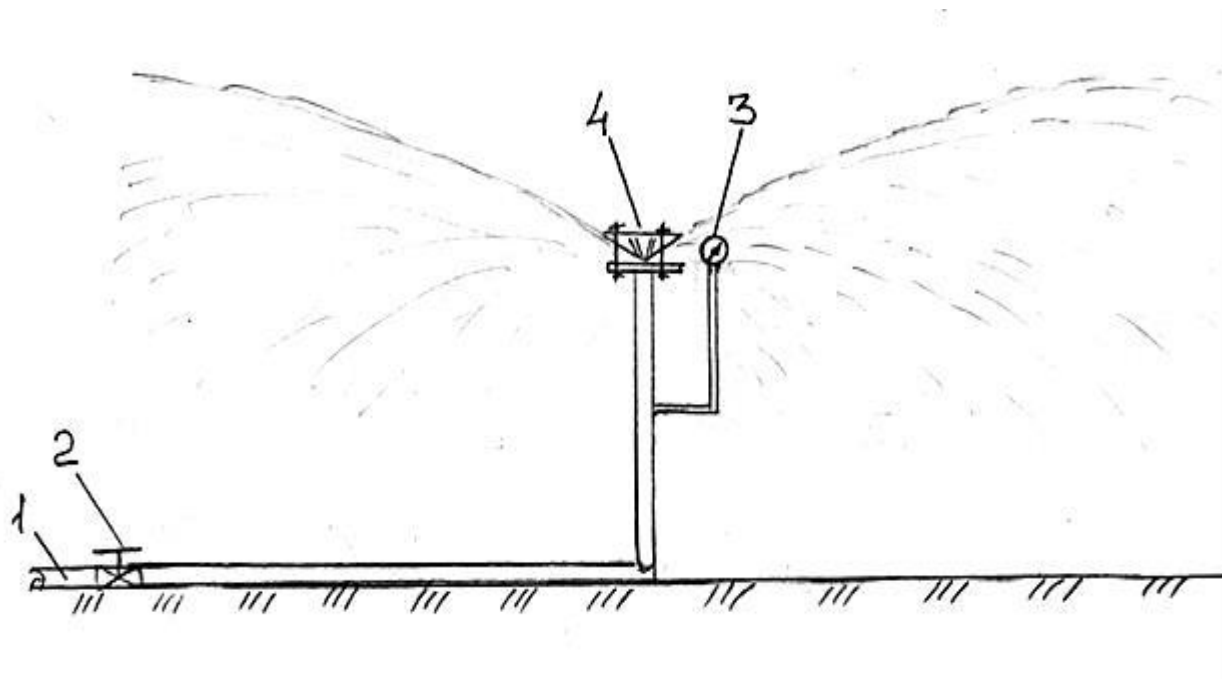


Рисунок 5.7 – Схема установки для испытаний дождевальной насадки:

1 – напорный трубопровод; 2 – регулирующая задвижка;

3 – манометр; 4 – дождевальная насадка.

Испытания в полевых условиях проводились при скорости ветра, близкой к нулю, для исключения влияния ветрового сноса на результаты измерений.

Расход воды дождевальной насадки определялся объёмным способом согласно ГОСТ ИСО 8224-1-2004 [140, 145]. Для этого на насадку устанавливался цилиндрический колпак (заборное устройство), по рукаву вода поступала в мерный бак. Время заполнения бака фиксировалось секундомером. Расход вычислялся по формуле:

$$q = \frac{V}{t}, \text{ л/с} \quad (5.1)$$

где V – объём воды в мерном баке, л;

t – время заполнения, с.

Исследования проводились при трёх диаметрах сопла – 10, 12 и 16 мм – и диапазоне напоров 0,10...0,40 МПа, что позволило получить расходно-напорные характеристики для каждого варианта.

Максимальный радиус захвата дождём определялся как расстояние от проекции оси насадки на поверхность поля до места падения крайних капель. Измерения проводились при тех же диаметрах сопла и напорах, что и при определении расхода, как в лабораторных, так и в полевых условиях.

Крупность капель определялась методом бумажных фильтров (СТО АИСТ 11.1-2010) [48]. Пробы отбирались в различных точках по радиусу полива. Бумажный фильтр, защищённый от попадания посторонней влаги, вносился в зону дождя и открывался на короткий промежуток времени (несколько секунд), чтобы на него попало ограниченное число капель. После высушивания фильтра на нём измерялись размеры отпечатков капель по двум перпендикулярным направлениям (рисунок 5.8).

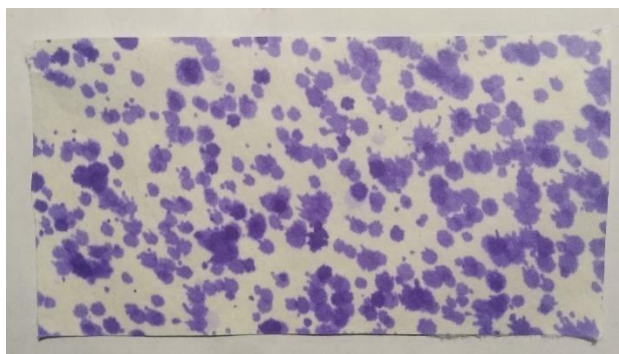


Рисунок 5.8 – Бумажный фильтр с пятнами от капель дождевальной насадки

Фактический диаметр капель определялся по калибровочному графику (рисунок 5.9), построенному по методике [48].

Средняя интенсивность дождя, создаваемого насадкой, вычислялась по формуле:

$$P_{\text{ср}} = \frac{60Q}{F} \quad (5.2)$$

где Q – расход дождевальной насадки, л/с;

F - площадь орошения, м^2 (рассчитывалась по максимальному радиусу полива), м^2 .

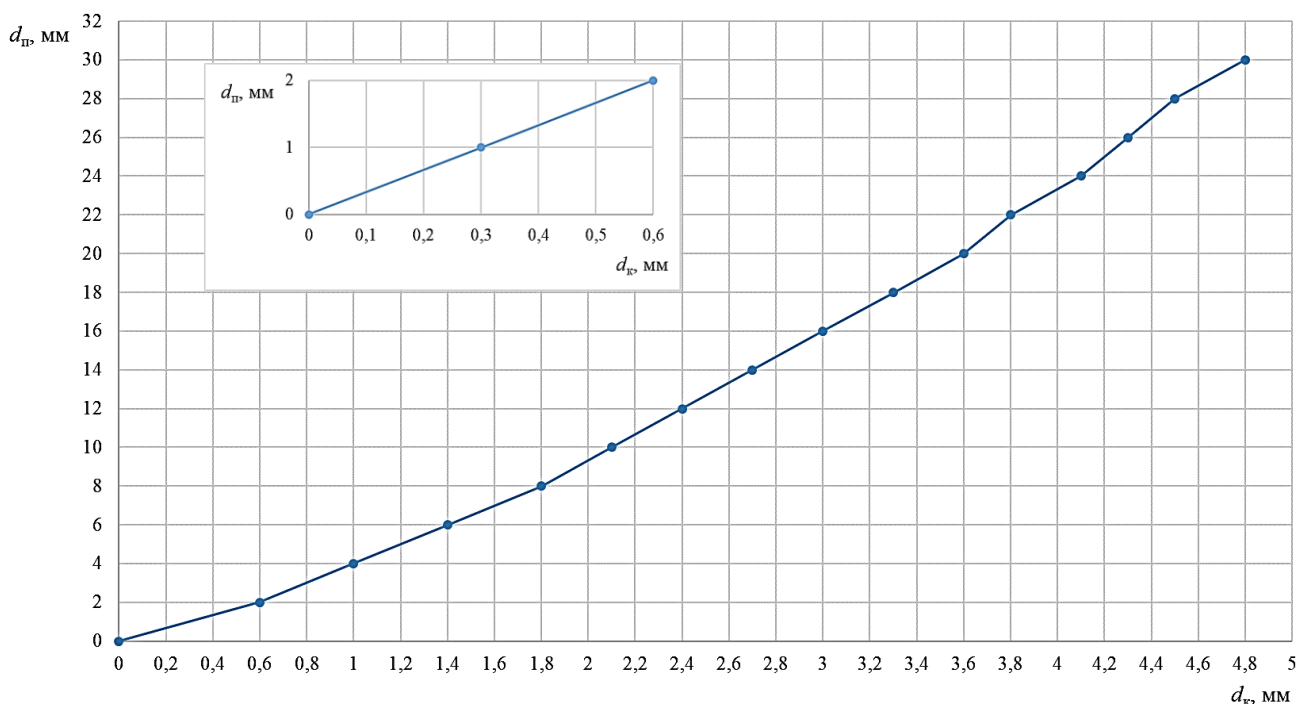


Рисунок 5.9 – Калибровочный график зависимости диаметра капли искусственного дождя от диаметра отпечатка на бумажном фильтре

Равномерность полива оценивалась по распределению слоя дождя по площади орошения в соответствии с ГОСТ ИСО 11545-2004 [27]. Для этого дождемеры (ёмкостью 1 л, диаметром 10 см) расставлялись вдоль радиуса захвата дождём в секторе круга с центральным углом $5...30^\circ$ от оси насадки (рисунок 5.10), с расстоянием между дождемерами $0,5...1,0$ м. Продолжительность дождевания составляла 60 минут. По объёму воды в каждом дождемере определялся слой осадков (в мм).

Равномерность дождевания оценивалась коэффициентом Христиансена по формуле:

$$\sigma = 100 \left(1 - \frac{\sum |h_m - h_i|}{n h_m} \right) \quad (5.3)$$

где n – количество дождемеров;

h_m – среднеарифметическое значение слоя осадков по всем дождемерам, мм;

h_i – слой осадков в i -м дождемере, мм;

$\sum |h_m - h_i|$ – сумма абсолютных значений каждого отклонения измерения от среднего значения.

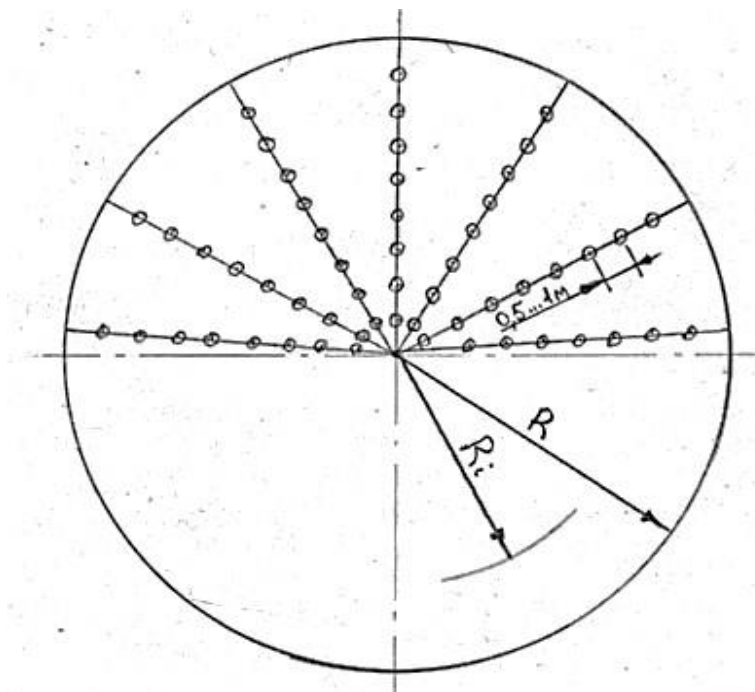


Рисунок 5.10 – Схема расстановки дождемеров по радиусу R_i вдоль радиуса полива R (центральный угол $5...30^\circ$).

Коэффициент Христиансена характеризует равномерность распределения воды по площади: чем ближе значение к 100 %, тем равномернее полив.

Испытания проводились для трёх вариантов дефлектора (различающихся углом вершины конуса – 40 , 80 и 120°) при различных давлениях и диаметрах сопла. Результаты измерений и их обработка представлены в разделе 5.4.

5.4 Результаты экспериментальных исследований расхода, интенсивности, крупности капель и равномерности полива разработанной дождевальной насадки

В ходе испытаний разработанной дождевальной насадки были определены её гидравлические и качественные характеристики: расход воды, средняя

интенсивность дождя, радиус полива, крупность капель и равномерность распределения. Испытания проводились для трёх вариантов дефлектора (угол вершины конуса 40, 80 и 120°) при трёх диаметрах сопла (10, 12 и 16 мм) и диапазоне напоров 0,10...0,40 МПа.

Результаты измерений расхода воды (таблица 5.3) показали, что расход закономерно возрастает с увеличением диаметра сопла и напора:

- при диаметре сопла 10 мм расход увеличивается с 0,96 до 1,64 л/с (в диапазоне напоров 0,10...0,32 МПа);
- при диаметре 12 мм – с 1,31 до 2,35 л/с (0,09...0,32 МПа);
- при диаметре 16 мм – с 2,50 до 3,92 л/с (0,10...0,31 МПа).

Таблица 5.3 – Расход воды разработанной дождевальной насадки в зависимости от диаметра сопла и напора

Диаметр сопла, мм	Напор перед насадкой, МПа	Объём воды в баке, л	Время заполнения бака, с	Расход воды насадки, л/с	Коэффициент расхода
10	0,104	48	50	0,960	0,856
10	0,159	46	40	1,150	0,829
10	0,247	50	33	1,515	0,877
10	0,267	47	30	1,567	0,872
10	0,316	46	28	1,643	0,840
12	0,087	46	35	1,314	0,890
12	0,191	50	28	1,786	0,816
12	0,244	50	25	2,000	0,809
12	0,264	48	21	2,286	0,888
12	0,319	47	20	2,350	0,831
16	0,102	50	20	2,500	0,879
16	0,181	48	16	3,000	0,792
16	0,246	45	12	3,750	0,849
16	0,273	49	13	3,769	0,810
16	0,310	47	12	3,917	0,790
Среднее					0,842

Примечание: для $D = 10$ мм $НСР_{0,5\%} = 2,6$; средняя ошибка опыта 1,3; для $D = 12$ мм $НСР_{0,5\%} = 5,3$; средняя ошибка опыта 2,5; для $D = 16$ мм $НСР_{0,5\%} = 3,7$; средняя ошибка опыта 1,9.

Среднее значение коэффициента расхода $\mu = 0,842$ свидетельствует о гидравлической эффективности разработанной конструкции: потери напора в насадке не превышают 15–20 %, что сопоставимо с лучшими зарубежными аналогами.

На основе полученных данных построены расходно-напорные характеристики (рисунок 5.11), которые показывают, что изменение напора сильнее сказывается на расходе в насадках с большим диаметром сопла. Эти зависимости позволяют подбирать оптимальное давление для обеспечения заданной поливной нормы.

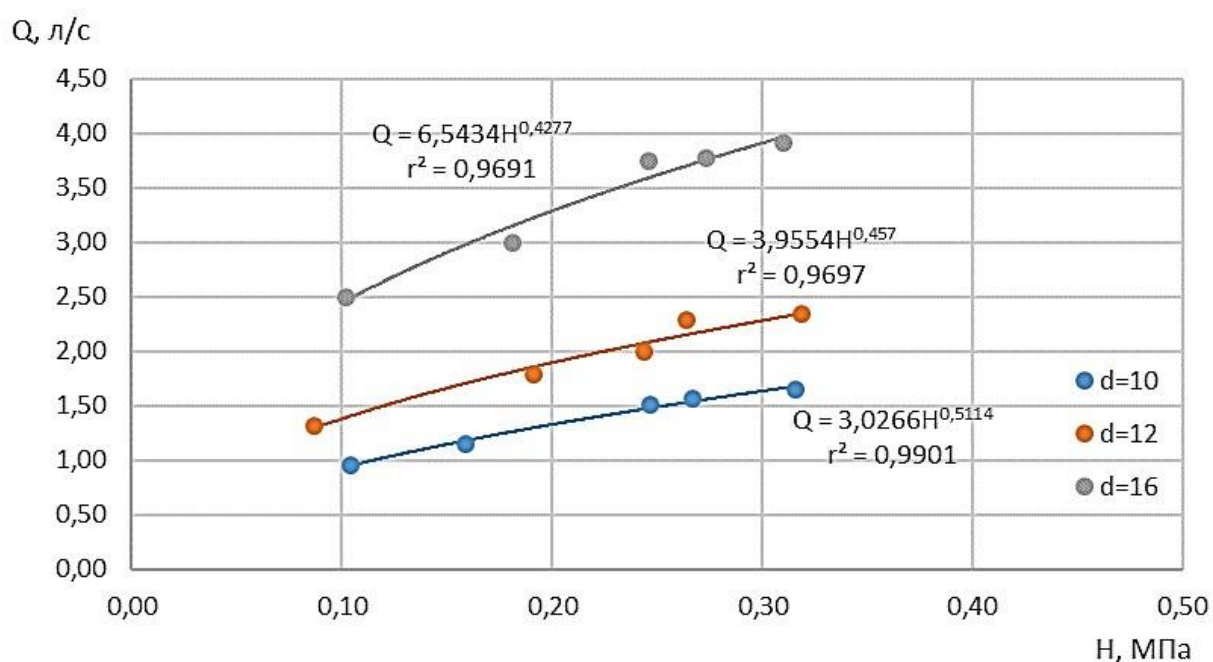


Рисунок 5.11 – Расходно-напорные характеристики разработанной дефлекторной насадки для диаметров сопла 10, 12 и 16 мм

С использованием формулы (5.2) для каждого варианта насадки была вычислена средняя интенсивность дождя по площади полива. Результаты (приложение 14) показали, что для варианта с углом конуса 120° (оптимальный по результатам предварительных испытаний) интенсивность дождя составляет:

- для сопла 10 мм при напоре 0,22...0,33 МПа – 0,21...0,24 мм/мин;
- для сопла 12 мм при напоре 0,27...0,35 МПа – 0,21...0,23 мм/мин.

Полученные значения интенсивности не превышают установленную скорость впитывания дерново-подзолистых суглинков (0,22...0,25 мм/мин), что подтверждает эрозионную безопасность разработанной насадки.

На рисунках 5.12–5.14 представлены зависимости средней интенсивности от напора для трёх углов конуса дефлектора.

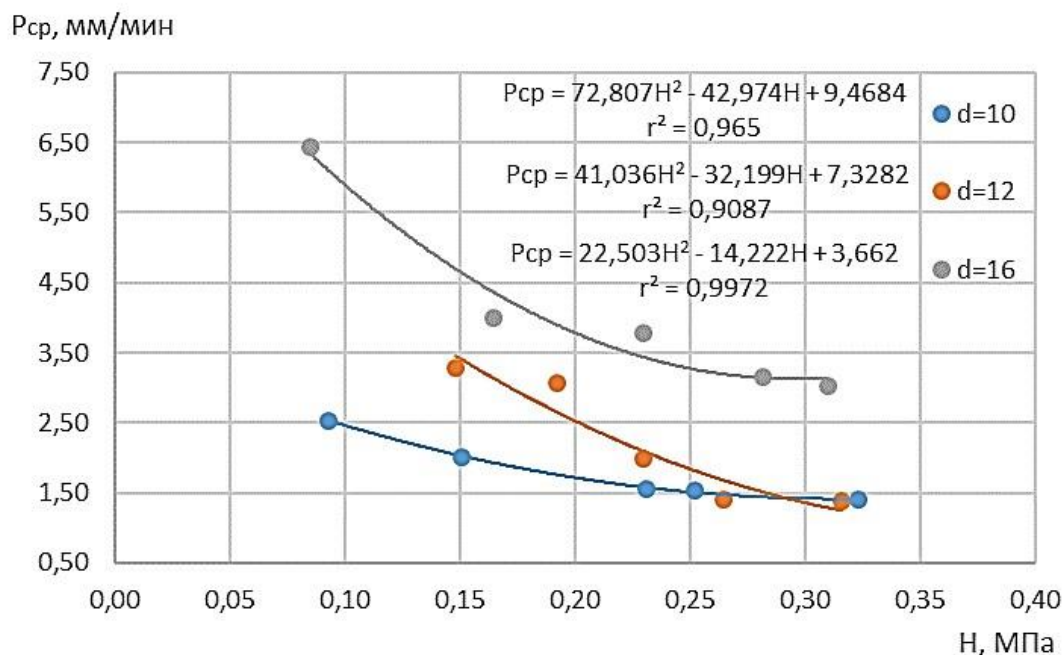


Рисунок 5.12 – Аппроксимация средней интенсивности дождя от напора для насадки с углом конуса дефлектора 40° (высота установки 2,0 м)

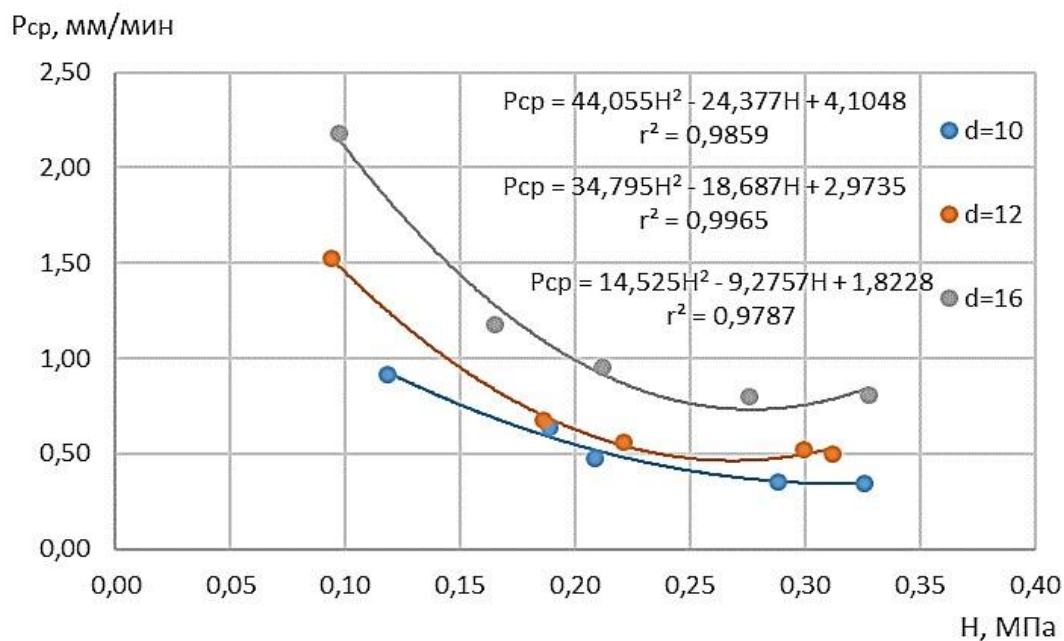


Рисунок 5.13 – Аппроксимация средней интенсивности дождя от напора для насадки с углом конуса дефлектора 80° (высота установки 2,0 м)

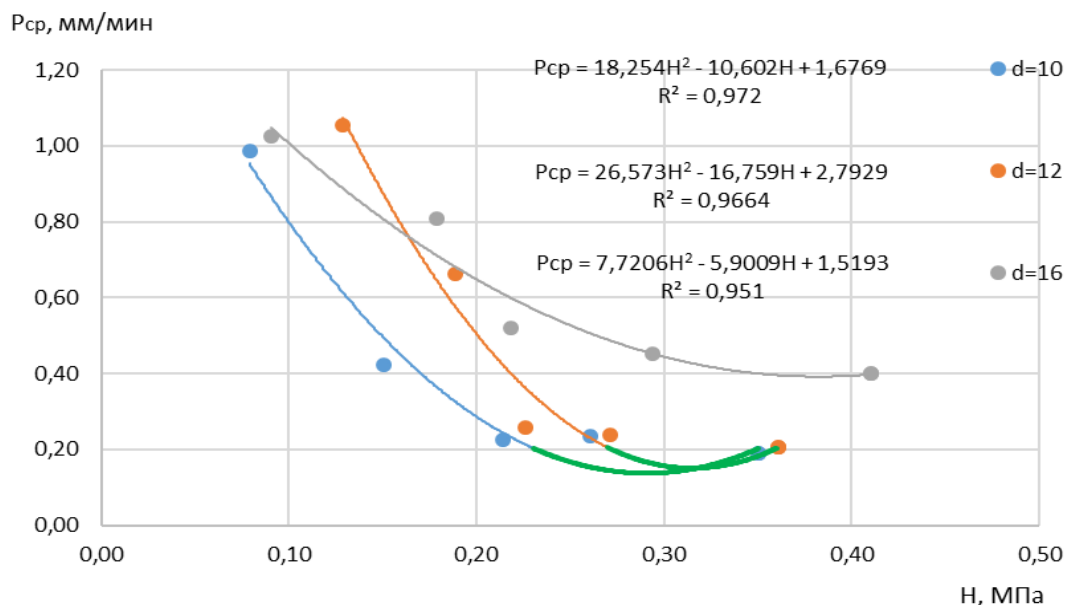


Рисунок 5.14 – Аппроксимация средней интенсивности дождя от напора для насадки с углом конуса дефлектора 120° (высота установки 2,0 м)

Для угла 120° (рисунок 5.14) установлены следующие рабочие диапазоны:

- для сопла 10 мм – напор 0,22...0,33 МПа, радиус полива 11...13 м;
- для сопла 12 мм – напор 0,27...0,35 МПа, радиус полива 12...15 м.

Зависимость радиуса полива от напора и диаметра сопла для оптимальной насадки (угол 120°) приведена на рисунке 5.15.

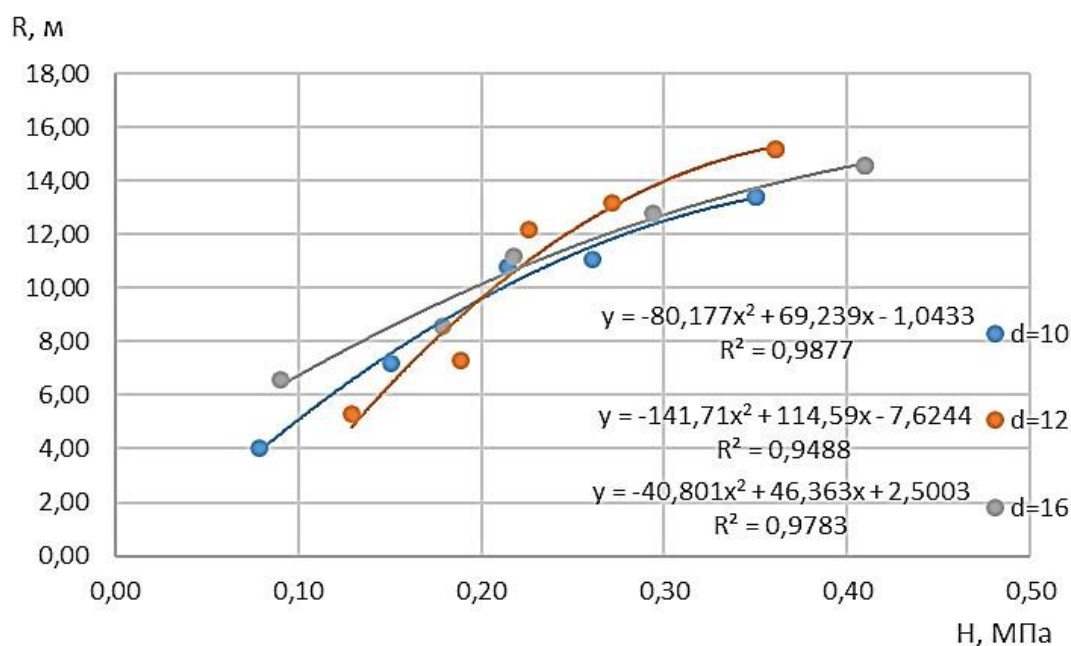


Рисунок 5.15 – Зависимость радиуса полива от напора для насадки с углом конуса дефлектора 120° при диаметрах сопла 10 и 12 мм (высота установки 2,0 м)

Результаты определения крупности капель по методу бумажных фильтров (таблица 5.4, рисунок 5.16) показали, что средний диаметр капель вдоль радиуса полива варьирует в следующих пределах:

- для сопла 10 мм (напор 0,225...0,326 МПа) – 0,54...1,23 мм;
- для сопла 12 мм (напор 0,278...0,342 МПа) – 0,68...1,36 мм.

Таблица 5.4 – Средний диаметр капель дождя ($d_{\text{ср}}$) вдоль радиуса полива для насадки с углом конуса 120° в зависимости от диаметра сопла (D) и напора (H)

D , мм	H , МПа	R_i/R	$d_{\text{ср}}$, мм	D , мм	H , МПа	R_i/R	$d_{\text{ср}}$, мм
10	0,225	0,237	0,65	12	0,278	0,208	0,84
10	0,225	0,545	0,85	12	0,278	0,52	0,98
10	0,225	0,818	1,23	12	0,278	0,88	1,28
10	0,268	0,197	0,54	12	0,316	0,215	0,68
10	0,268	0,583	0,76	12	0,316	0,519	0,84
10	0,268	0,875	1,1	12	0,316	0,896	1,19
10	0,326	0,211	0,74	12	0,342	0,193	0,89
10	0,326	0,462	0,84	12	0,342	0,467	0,95
10	0,326	0,923	1,21	12	0,342	0,873	1,36

Примечание: для $D = 10$ мм НСР_{0,5%} = 4,7; средняя ошибка опыта 2,8. для $D = 12$ мм НСР_{0,5%} = 5,1; средняя ошибка опыта 3,6.

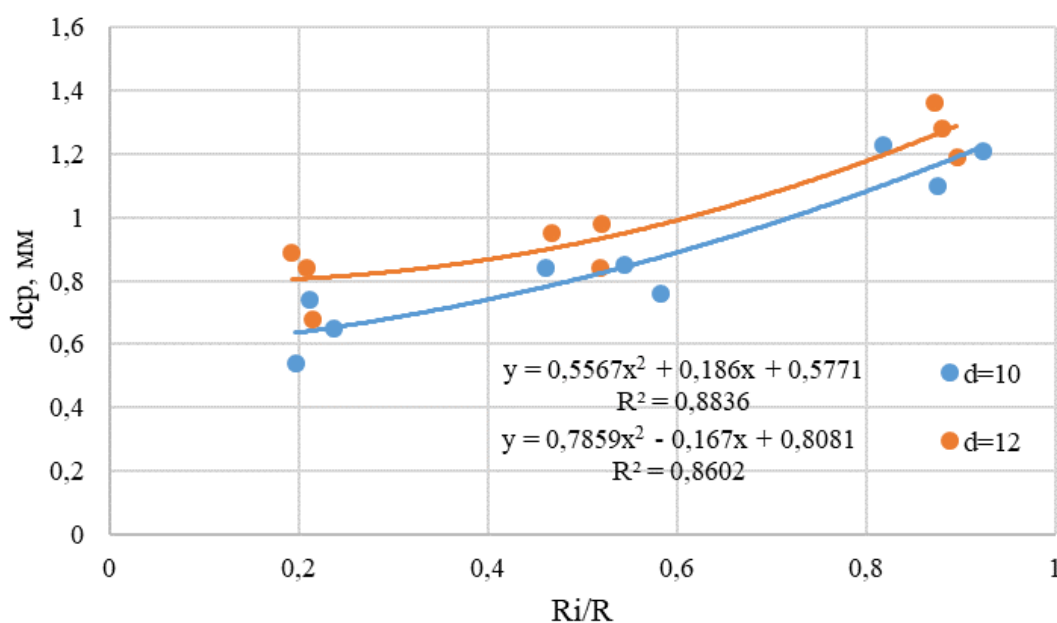


Рисунок 5.16 – Изменение среднего диаметра капель вдоль относительного радиуса полива насадки с углом вершины конуса дефлектора 120° при высоте установки 2,0 м

Установлено, что с увеличением относительного радиуса R_i/R (от центра к периферии) диаметр капель возрастает в 1,5–2 раза. При увеличении диаметра сопла и снижении напора средний размер капель также возрастает. Полученный диапазон крупности капель (0,54...1,36 мм) соответствует мелкодисперсному дождю, не повреждающему листовую поверхность и не уплотняющему почву.

Оценка равномерности распределения воды по площади полива выполнялась по коэффициенту Христиансена (формула 5.3). Данные по объёму воды в дождемерах для сопел 10 и 12 мм приведены в приложениях 15 и 16.

На рисунке 5.17 представлена зависимость коэффициента равномерности полива от давления для оптимальной насадки (угол конуса 120°). Установлено, что:

- для сопла 10 мм высокие значения коэффициента равномерности ($> 80\%$) достигаются в диапазоне давлений 0,24...0,31 МПа;
- для сопла 12 мм – в диапазоне 0,25...0,35 МПа.

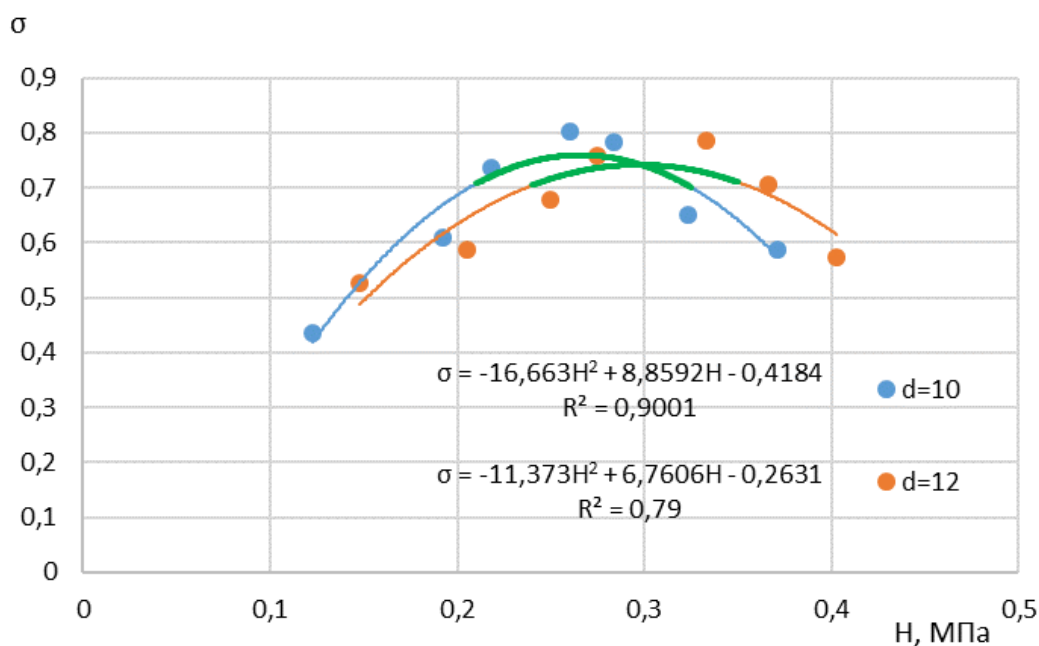


Рисунок 5.17 – Зависимость коэффициента равномерности полива (по Христиансену) от давления для насадки с углом конуса 120° при диаметрах сопла 10 и 12 мм

В этих диапазонах коэффициент Христиансена составляет 75...85 %, что соответствует требованиям к дождевальным устройствам для кормовых культур

[27]. При давлениях ниже оптимальных равномерность снижается из-за недостаточного дробления струи; при давлениях выше – из-за чрезмерной турбулизации потока и сноса капель ветром.

На основании проведённых испытаний для практического применения рекомендован вариант 3 – с углом вершины конуса дефлектора 120°. Его преимущества:

- интенсивность дождя 0,21...0,24 мм/мин, что не превышает скорость впитывания почвы;
- мелкодисперсная структура дождя (средний диаметр капель 0,54...1,36 мм);
- высокая равномерность распределения (75...85 %) в рабочем диапазоне давлений;
- возможность регулирования радиуса полива (11...15 м) путём изменения давления или замены сопла.

Таблица 5.5 – Рекомендуемые режимы работы насадки

Диаметр сопла, мм	Рабочее давление, МПа	Интенсивность дождя, мм/мин	Радиус полива, м
10	0,24...0,31	0,21...0,24	11...13
12	0,25...0,35	0,21...0,23	12...15

Применение разработанной насадки позволяет проводить полив на дерново-подзолистых суглинистых почвах с минимальным риском образования поверхностного стока и эрозионных процессов.

Выводы

1. Расход воды предложенной конструкции дождевальной насадки закономерно увеличивается с ростом диаметра сопла и напора (от 0,96 до 3,92 л/с). Средний коэффициент расхода ($\mu = 0,842$) свидетельствует об относительно низких гидравлических потерях, это подтверждает эффективность предложенной конструкции.

2. Угол конуса (120°) обеспечивает интенсивность дождя, не превышающую скорость впитывания воды в почву с диаметрами сопла 10 мм диапазоном изменения напора 0,22...0,33 МПа и диаметром сопла 12 мм с диапазоном изменения напора 0,27...0,35 МПа.

3. Для сопла 10 мм, при напоре 0,22...0,33 МПа, радиус меняется от 11 до 13 м, для сопла 12 мм, при напоре 0,27...0,35 МПа, радиус меняется от 12 до 15 м, при высоте установки насадки 2,0 метра

4. Средний диаметр капель в исследованных режимах варьировался в основном от 0,54 до 1,26 мм. Выявлены оптимальные диапазоны давления для достижения максимальной равномерности полива, для сопла 10 мм 0,24 ... 0,31 МПа, для сопла 12 мм 0,25 ... 0,35 МПа.

6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРОШАЕМОГО ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ

6.1 Урожайность суданской травы за период исследований

Учёт урожайности зелёной массы суданской травы проводился в соответствии с методиками полевого опыта [33, 73] методом сплошного скашивания всей учётной площади делянок с последующим взвешиванием сырой массы. Для каждого варианта опыта (без орошения, 70...80 % НВ и 80...90 % НВ) урожайность определялась в четырёхкратной повторности, что обеспечивало статистическую надёжность получаемых данных.

Для пересчёта урожайности зелёной массы в абсолютно сухое вещество с каждой делянки отбирался средний образец сырой травы массой 1,0 кг. Процедура подготовки образцов включала два последовательных этапа:

1. Естественная сушка – образец помещался в марлевый мешочек и высушивался в тени под навесом (без доступа прямых солнечных лучей) до достижения постоянной массы. Этот этап позволял удалить основную часть свободной влаги без риска перегрева и потери питательных веществ.

2. Термическая досушка – образцы помещались в сушильный шкаф при температуре 60...65 °С на 4–5 часов, после чего выдерживались в лабораторных условиях до следующего дня для адаптации к комнатной влажности. Окончательное взвешивание проводилось для определения абсолютно сухой массы образца, по которой рассчитывалась урожайность сухого вещества (ц/га).

Результаты учёта урожайности суданской травы в сухом веществе и в пересчёте на зелёную массу, а также прибавки от орошения представлены в таблицах 6.1–6.4. Обобщённые данные по средней урожайности за три года исследований (2020–2022) и средние прибавки для каждого варианта приведены в таблицах 6.5 и 6.6. Анализ этих данных позволяет оценить влияние режимов

Таблица 6.1 –Прибавка урожайности суданской травы «Пружанская» в сухом виде от оросительной нормы.

Период исследований	Предполивная влажность, % от НВ								
	Без орошения			70...80 % от НВ			80...90 % от НВ		
	Доза вносимых минеральных удобрений NPK, кг/га д.в.								
	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₀₀			N ₆₀ P ₆₀ K ₁₀₀			N ₆₀ P ₆₀ K ₁₀₀		
	Урожайность, ц/га	Разница по отношению к контролю		Урожайность, ц/га	Разница по отношению к контролю		Урожайность, ц/га	Разница по отношению к контролю	
		ц/га	%		ц/га	%		ц/га	%
2020г.	88,52	—	—	109,49	20,97	23,7	117,40	28,87	32,6
2021 г.	92,00	—	—	120,37	28,37	30,8	126,09	34,09	37,1
2022 г.	99,86	—	—	124,09	24,23	24,3	140,61	40,74	40,8
Среднее	93,46	—	—	117,99	24,52	26,2	128,03	34,56	37,0

Таблица 6.2 –Прибавка урожайности в зеленой и сухой массе суданской травы «Пружанская» от оросительной нормы.

Варианты	Оросительная норма, м ³ /га	Урожайность сухого вещества ц/га	Урожайность в зеленой массе ц/га
2020 г.			
Без орошения	-	88,52	460,33
70..80 % НВ	350	109,49	525,57
80...90 % НВ	480	117,40	610,48
2021 г.			
Без орошения	-	92,00	441,59
70..80 % НВ	720	120,37	613,90
80...90 % НВ	780	126,09	655,68
2022 г.			
Без орошения	-	99,86	479,33
70..80 % НВ	680	124,09	608,04
80...90 % НВ	880	140,61	674,91

Таблица 6.3 –Прибавка урожайности суданской травы «Сенокосная 88» в сухом виде от оросительной нормы.

Период исследований	Предполивная влажность, % от НВ								
	Без орошения			70...80 % от НВ			80...90 % от НВ		
	Доза вносимых минеральных удобрений NPK, кг/га д.в.								
	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₀₀			N ₆₀ P ₆₀ K ₁₀₀			N ₆₀ P ₆₀ K ₁₀₀		
	Урожайность, ц/га	Разница по отношению к контролю		Урожайность, ц/га	Разница по отношению к контролю		Урожайность, ц/га	Разница по отношению к контролю	
		ц/га	%		ц/га	%		ц/га	%
2020г.	81,72	—	—	99,07	17,35	21,2	110,56	28,85	35,3
2021 г.	84,92	—	—	108,91	23,99	28,2	118,75	33,83	39,8
2022 г.	92,18	—	—	112,27	20,09	21,8	132,41	40,24	43,6
Среднее	86,28	—	—	106,75	20,48	23,7	120,57	34,30	39,8

Таблица 6.4 –Прибавка урожайности в зеленой и сухой массе суданской травы «Сенокосная 88» от оросительной нормы.

Варианты	Оросительная норма, м ³ /га	Урожайность сухого вещества ц/га	Урожайность в зеленой массе ц/га
2020 г.			
Без орошения	-	81,72	424,92
70..80 % НВ	350	99,07	475,52
80...90 % НВ	480	110,56	574,92
2021 г.			
Без орошения	-	84,92	407,62
70..80 % НВ	720	108,91	555,43
80...90 % НВ	780	118,75	617,49
2022 г.			
Без орошения	-	92,18	442,46
70..80 % НВ	680	112,27	550,13
80...90 % НВ	880	132,41	635,59

Таблица 6.5 – Средняя прибавка урожайности суданской травы в сухом виде от оросительной нормы.

Период исследований	Предполивная влажность, % от НВ								
	Без орошения			70...80 % от НВ			80...90 % от НВ		
	Доза вносимых минеральных удобрений NPK, кг/га д.в.								
	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₀₀			N ₆₀ P ₆₀ K ₁₀₀			N ₆₀ P ₆₀ K ₁₀₀		
	Урожайность, ц/га	Разница по отношению к контролю		Урожайность, ц/га	Разница по отношению к контролю		Урожайность, ц/га	Разница по отношению к контролю	
		ц/га	%		ц/га	%		ц/га	%
2020г.	85,12	—	—	104,28	19,16	22,5	113,98	28,86	33,9
2021 г.	88,46	—	—	114,64	26,18	29,6	122,42	33,96	38,4
2022 г.	96,02	—	—	118,18	22,16	23,1	136,51	40,49	42,2
Среднее	89,87	—	—	112,37	22,5	25,0	124,30	34,44	38,3

Таблица 6.6 – Средняя прибавка урожайности в зеленой и сухой массе от оросительной нормы.

Варианты	Оросительная норма, м ³ /га	Урожайность сухого вещества ц/га	Урожайность в зеленой массе ц/га
2020 г.			
Без орошения	-	85,12	442,62
70..80 % НВ	350	104,28	500,54
80...90 % НВ	480	113,98	592,70
2021 г.			
Без орошения	-	88,46	424,61
70..80 % НВ	700	114,64	584,66
80...90 % НВ	720	122,42	636,58
2022 г.			
Без орошения	-	96,02	460,92
70..80 % НВ	700	118,18	579,06
80...90 % НВ	960	136,51	655,26

орошения на продуктивность культуры и является основой для экономической и энергетической оценки (разделы 6.2–6.3).

Урожайность в сухом виде за период исследований колебалась от 96,02 ц/га до 85,12 ц/га на варианте без орошения, от 118,18 ц/га до 104,28 ц/га на варианте с нижней границей влажности 70 % НВ и от 136,51 ц/га до 113,98 ц/га на варианте с нижней границей влажности 80 % НВ. Среднее значение урожайности суданской травы в сухом виде составила для варианта без орошения 89,87 ц/га, 112,37 ц/га и 124,30 ц/га для вариантов 70...80 % от НВ и 80...90 % от НВ соответственно. Разница по отношению к контролю составила 22,5 ц/га и 34,44 ц/га или 25,0 % и 38,3 % для вариантов 70...80 % от НВ и 80...90 % от НВ соответственно.

Кормовая и питательная ценность суданской травы определялась в химикоэкологической лаборатории «УО БГСХА», ее результаты приведены в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Химический состав суданской травы (содержание сырого протеина, жира, клетчатки, БЭВ и золы) по вариантам опыта за 2020–2022 гг., % от сухого вещества.

Вариант	Сырой протеин, %	Сырой жир, %	Сырая клетчатка, %	БЭВ, %	Зола, %
2020 г.					
Контроль	9,8	1,63	28,89	36,41	5,36
70..80 % НВ	11,2	1,95	34,74	40,56	8,14
80...90 % НВ	12,4	2,48	38,12	46,74	10,50
2021 г.					
Контроль	10,6	1,32	31,26	36,85	7,02
70..80 % НВ	12,4	1,85	36,41	39,21	9,76
80...90 % НВ	14,5	2,41	40,74	44,52	11,76
2022 г.					
Контроль	10,2	1,79	30,45	39,24	6,42
70..80 % НВ	11,8	2,04	35,96	44,10	8,23
80...90 % НВ	13,9	2,67	39,82	47,76	10,61

Анализ данных, представленных в таблице 6.7, позволяет выявить чёткую закономерность: применение орошения дождеванием способствует повышению всех основных показателей кормовой ценности суданской травы. Так,

содержание сырого протеина – ключевого показателя питательной ценности корма – возрастает во все годы исследований по сравнению с контрольным вариантом (без орошения). Аналогичная тенденция прослеживается по сырому жиру, сырой клетчатке, безазотистым экстрактивным веществам (БЭВ) и содержанию золы. Наибольшие значения этих показателей зафиксированы на варианте с поддержанием влажности почвы 80...90 % НВ, что свидетельствует об улучшении кормовых качеств зелёной массы при оптимизации водного режима.

Выявлено увеличение содержания сырого протеина на орошаемых вариантах (с 9,8...10,6 % до 12,4...14,5 %). Повышение содержания жира и БЭВ также положительно сказывается на энергетической ценности корма, что будет учтено при расчёте выхода обменной энергии (раздел 6.3). Таким образом, орошение не только увеличивает урожайность зелёной массы (раздел 6.1), но и улучшает её качественный состав, что усиливает экономическую и энергетическую эффективность возделывания суданской травы на орошаемых землях.

При дальнейшем расчёте экономической и энергетической эффективности орошения дождеванием суданской травы, выхода обменной энергии с урожаем по вариантам опыта, определяем на основании данных представленных в таблицах 6.5; 6.6; и 6.7.

6.2 Оценка экономической эффективности возделывания суданской травы на зелёную массу при орошении

Для оценки экономической эффективности возделывания суданской травы на зелёную массу дополнительно учитываем следующие исходные данные: почва дерново-подзолистая суглинистая. Способ сева – сплошной. Норма высева 12-20 кг/га. Предшественник – яровые зерновые. Удобрения – $N_{60}P_{60}K_{100}$. Обработка гербицидами прищанс (0,6 л/га). Удобрения: Аммофос $NH_4H_2PO_4$ содержит 10-12 % N и 52 % P. Следовательно 120 кг это $N_{14}P_{62}$. Аммиачная селитра NH_4NO_3 содержит 35 % N. Следовательно 130 кг это N_{46} . Хлористый калий KCl содержит 60 % калия, следовательно 165 кг это K_{100} .

Для оценки экономической эффективности возделывания суданской травы на зеленую массу на учебно-оросительном комплексе Тушково -1 составлялись технологические карты, включающие в себя вид работ по основной обработке почвы, внесению удобрений, предпосевной обработке почвы участка, посеву семян, уходом за посевами, уборке суданской травы на зелёную массу. При расчёте затрат на топливо и электроэнергию учитывались действующие цены, на момент проведения исследований, на дизельное топливо, электроэнергию. При расчёте затрат на зарплату механизаторов и полевых рабочих учитывалась средняя стоимость часа механизаторов, полевых рабочих, принятая по данным УО Учхоз БГСХА. При учёте затрат на оборотные средства принимались закупочные цены, на момент проведения исследований, на промышленные удобрения, семена и гербициды. При расчёте основных технико-экономических показателей учитывался выход кормовых единиц с 1 га сухого вещества суданской травы с переводом их на стоимость продукции от цен реализации овса фуражного, 2 и 3 класса. Пример расчёта за 2020 год представлен в приложении 17. Аналогичные расчёты проведены за 2021 и 2022 гг. На основании проведённых расчётов основные технико-экономические показатели представлены в таблице 6.8, анализ которой позволяет сделать вывод, что рентабельность возделывания суданской травы с применением орошения увеличивается. Так, например, в пересчёте на овёс 2 класса, рентабельность изменяется с 43,98 % до 97,91 % на варианте 70...80 % НВ и 71,20 % до 145,66 % на варианте 80...90 % НВ, тогда как без орошения рентабельность изменяется от 13,30 % до 75,96 %.

6.3 Оценка энергетической эффективности возделывания суданской травы на зеленую массу при орошении

Оценка энергетической эффективности возделывания суданской травы выполнялась на основе системы агроэнергетических показателей [93, 174],

Таблица 6.8 – Показатели экономической эффективности суданской травы при возделывании на зеленую массу
по вариантам опытов за годы проведения исследований

Показатели	2020 г.			2021 г.			2022 г.		
	Без орошения	70...80% НВ	80...90% НВ	Без орошения	70...80% НВ	80...90% НВ	Без орошения	70...80% НВ	80...90% НВ
Урожайность, т/га	44,26	50,05	59,27	42,46	58,47	63,66	46,09	57,91	65,53
Выход т.к.ед/га	4,04	5,50	6,83	4,23	5,95	7,1	4,92	6,72	8,46
Цена реализации овса за 1 т. в бел.руб.:									
3 класс	180,83	180,83	180,83	188,06	188,06	188,06	273,82	273,82	273,82
2 класс	225,84	225,84	225,84	234,87	234,87	234,87	341,98	341,98	341,98
фуражный	144,89	144,89	144,89	150,69	150,69	150,69	242,26	242,26	242,26
Цена реализации овса за 1 т. в рос.руб.:									
3 класс	5293,78	5293,78	5293,78	5418,50	5418,50	5418,50	5603,59	5603,59	5603,59
2 класс	6611,44	6611,44	6611,44	6767,22	6767,22	6767,22	6998,45	6998,45	6998,45
фуражный	4241,64	4241,64	4241,64	4341,77	4341,77	4341,77	4957,73	4957,73	4957,73
Стоимость продукции, бел.руб/га.									
3 класс	731,33	995,04	1235,49	796,22	1118,58	1335,25	1348,08	1840,56	2317,81
2 класс	913,36	1242,71	1543,02	994,41	1397,01	1667,60	1683,65	2298,72	2894,77
фуражный	585,98	797,27	989,94	638,00	896,30	1069,92	1192,70	1628,42	2050,66
Стоимость продукции, рос.руб/га.									
3 класс	21409,62	29129,65	36168,92	22941,17	32229,20	38472,02	27587,78	37666,22	47432,85
2 класс	26738,64	36380,25	45171,65	28651,54	40251,49	48047,89	34455,00	47042,19	59239,97
фуражный	17154,45	23340,13	28980,34	18382,44	25824,73	30827,18	24408,06	33324,88	41965,83
Себестоимость, бел.руб./га	806,13	863,11	883,68	852,14	965,12	974,05	956,84	1161,5	1178,37
Себестоимость, рос.руб./га	23599,38	25267,46	25869,64	24552,37	27807,62	28064,91	19581,25	23769,52	24114,75
Себестоимость, 1 т. к.ед. бел.руб.	199,33	156,85	129,34	201,27	162,26	137,19	194,35	172,80	139,21
Себестоимость, 1 т. к.ед. рос.руб.	5835,22	4591,90	3786,35	5799,11	4675,13	3952,80	3977,32	3536,18	2848,85

Продолжение таблицы 6.8

Чистый доход, бел.руб./га									
3 класс	-74,80	131,93	351,81	-55,92	153,46	361,20	391,24	679,06	1139,44
2 класс	107,23	379,60	659,34	142,27	431,89	693,55	726,81	1137,22	1716,40
фуражный	-220,15	-65,84	106,26	-214,14	-68,82	95,87	235,86	466,92	872,29
Чистый доход, рос.руб./га									
3 класс	-2189,75	3862,19	10299,28	-1611,20	4421,58	10407,11	8006,52	13896,70	23318,10
2 класс	3139,27	11112,79	19302,00	4099,17	12443,87	19982,98	14873,75	23272,68	35125,21
фуражный	-6444,92	-1927,33	3110,70	-6169,93	-1982,88	2762,26	4826,81	9555,36	17851,08
Рентабельность, %									
3 класс	-9,28	15,29	39,81	-6,56	15,90	37,08	40,89	58,46	96,70
2 класс	13,30	43,98	74,61	16,70	44,75	71,20	75,96	97,91	145,66
фуражный	-27,31	-7,63	12,02	-25,13	-7,13	9,84	24,65	40,20	74,03

позволяющих количественно оценить соотношение между полученной и затраченной энергией. Расчёт включал следующие ключевые показатели.

Сбор обменной энергии (ОЭ) и валовой энергии (ВЭ) с 1 га характеризует энергетическую продуктивность агроценоза. Он рассчитывается как произведение урожайности сухого вещества (ц/га) на содержание обменной или валовой энергии в 1 кг сухой массы (МДж/кг). Содержание энергии определялось на основе химического состава корма (таблица 6.7) с использованием коэффициентов энергетической ценности питательных веществ [93, 174]:

- валовая энергия (ВЭ) – по формуле (6.1), учитывающей содержание сырых протеина, жира, клетчатки и БЭВ;
- обменная энергия (ОЭ) – по формуле Аксельсона в модификации Н.Г. Григорьева и Н.П. Волкова (6.2), корректирующей валовую энергию с учётом содержания клетчатки.

Удельные затраты энергии отражают энергетическую эффективность технологии и определяется как количество совокупной энергии (МДж), затраченной на производство единицы продукции. Рассчитывается путём деления суммы всех энергетических затрат на 1 га (включая затраты по технологической карте на топливо, электроэнергию, труд, амортизацию техники, а также энергоёмкость удобрений, семян и пестицидов) на один из следующих показателей продуктивности:

- выход кормовых единиц с 1 га (к.ед./га);
- выход сырого протеина с 1 га (кг/га);
- сбор обменной энергии с 1 га (МДж/га).

Использование трёх вариантов нормирования позволяет оценить энергетическую эффективность технологии с разных позиций и выявить наиболее ресурсоёмкие элементы.

Для интегральной оценки эффективности технологии рассчитывался агроэнергетический коэффициент (АК) – отношение сбора обменной энергии с 1 га к затратам совокупной энергии на 1 га. Технология считается энергетически

эффективной, если $AK > 1$ (или $> 100 \%$). Чем выше значение AK , тем больше энергии получено в расчёте на каждую единицу затраченной.

Расчёт перечисленных показателей выполнен для всех вариантов опыта (без орошения, 70...80 % НВ и 80...90 % НВ) за каждый год исследований. Результаты представлены в таблице 6.9.

Для расчёта выше приведенных показателей составляем технологическую карту на возделывание суданской травы при орошении. В ней указываем технологические операции и их основные параметры, которые влияют на величину энергетических затрат (глубина обработки почвы, кратность операций, количество вносимых удобрений за один прием, норма пестицида и т. д.). Расчёт ведём на 1 га площади, норму выработки агрегата, рабочего учитываем за 1 час сменного времени [93, 174]. Количество горюче-смазочных материалов переводим в энергию путем умножения на энергетический эквивалент 1 кг ГСМ [93, 174]. Соответственно затраты энергии на электричество, используемое в технологиях рассчитываем путем умножения фактических затрат электроэнергии на энергетический эквивалент 1 кВт – часа 12 МДж [93, 174].

К совокупным энергетическим затратам на технологию необходимо добавить затраты на оборотные средства, используемые на выращивание суданской травы, а это удобрения, семена, пестициды. Для определения затрат энергии на эти материалы необходимо их фактический расход на 1 га умножить на соответствующий эквивалент [93, 174].

Суммируя энергетические затраты, рассчитанные по технологической карте и затраты на семена, удобрения и пестициды, определяем совокупные затраты энергии на технологию, которые служат основой для расчета ее энергетической эффективности.

Расчёт энергетических показателей выполнялся в следующей последовательности. Исходными данными служили результаты химического анализа суданской травы (таблица 6.7), содержащие значения массовой доли сырых протеина, жира, клетчатки и безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) в сухом веществе.

Валовая энергия (ВЭ) определялась по формуле (6.1), основанной на энергетических коэффициентах питательных веществ [93, 174]:

$$\text{ВЭ} = \text{сП} \times K_1 + \text{сЖ} \times K_2 + \text{сКл} \times K_3 + \text{сБЭВ} \times K_4, \quad (6.1)$$

где сП, сЖ, сКл и сБЭВ – содержание соответственно сырого протеина, сырого жира, сырой клетчатки и БЭВ в 1 кг сухого вещества, кг/кг;

K_1 , K_2 , K_3 , и K_4 – энергетические коэффициенты для соответствующих питательных веществ [93, 174].

Обменная энергия (ОЭ) определялась по формуле Аксельсона в модификации Н.Г. Григорьева и Н.П. Волкова [93, 174]:

$$\text{ОЭ} = 0,73 \times \text{ВЭ} [1 - (\text{сКл} \times 1,05)], \quad (6.2)$$

где 0,73 – коэффициент перехода от валовой энергии к обменной (коэффициент обменности);

сКл – содержание сырой клетчатки в 1 кг сухого вещества, кг/кг;

ВЭ – валовая энергия, МДж/кг;

$1 - (\text{сКл} \times 1,05)$ – поправочный коэффициент (K_5), учитывающий снижение энергетической ценности корма за счёт клетчатки, которая плохо переваривается животными.

Выход кормовых единиц с 1 га рассчитывался по формуле [93, 174]:

$$\text{Ск. ед.} = 0,008 \times \text{ОЭ}^2, \quad (6.3)$$

где Ск.ед. – содержание кормовых единиц в 1 кг сухого вещества;

0,008 – коэффициент пересчета обменной энергии в кормовые единицы;

ОЭ^2 – квадрат содержания обменной энергии в 1 кг сухого вещества, МДж.

Содержание переваримого протеина (Сп.п.) в 1 кг сухого вещества определялось по эмпирической формуле [93, 174]:

$$\text{Сп.п.} = (\text{сП} \times 0,885) - 30, \quad (6.4)$$

где сП – содержание сырого протеина в 1 кг сухого вещества, г/кг;
0,885 и 30 – эмпирические коэффициенты, учитывающие потери протеина при переваривании.

На основе полученных значений ОЭ, кормовых единиц и перевариваемого протеина рассчитывался их выход с 1 га путём умножения на урожайность сухого вещества (ц/га) для каждого варианта опыта.

Пример расчёта для 2020 года представлен в приложении 18, для остальных лет расчёты проведены аналогично.

Для оценки энергетической эффективности составляем таблицу, в которую заносим данные по урожайности, сбору обменной энергии, также затратам совокупной энергии в расчете на 1 га. Рассчитываем удельные затраты энергии на 1 ГДж/га обменной энергии, а также рассчитываем агроэнергетический коэффициент (таблица 6.9).

В результате оценки энергетической эффективности данных за 2020 год можно сделать вывод, что прибавка относительно варианта без орошения по сбору обменной энергии составила 19,09 ГДж/га, для варианта 70 % НВ и 33,06 ГДж/га, для варианта 80 % НВ. Аналогично для 2021 года прибавка по сбору обменной энергии составила 23,90 ГДж/га, для варианта 70 % НВ и 35,82 ГДж/га, для варианта 80 % НВ. А для 2022 года прибавка по сбору обменной энергии относительно варианта без орошения составила 22,78 ГДж/га, для варианта 70 % НВ и 43,31 ГДж/га, для варианта 80 % НВ.

Агроэнергетический коэффициент по расчётам за 2020 год увеличился относительно варианта без орошения на 0,34 и 0,63 для вариантов 70 % НВ и 80 % НВ соответственно. Для 2021 года данный коэффициент вырос соответственно на 0,21 и 0,49 для вариантов 70 % НВ и 80 % НВ соответственно. По данным расчёта за 2022 год агроэнергетический коэффициент также возрос по отношению к варианту без орошения на 0,13 и 0,43 соответственно.

Таблица 6.9 – Показатели энергетической эффективности суданской травы при возделывании на зеленую массу по вариантам опытов за годы проведения исследований

Показатели	2020 год			2021 год			2022 год		
	Без орошения	70...80% НВ	80...90% НВ	Без орошения	70...80% НВ	80...90% НВ	Без орошения	70...80% НВ	80...90% НВ
Урожайность, т/га в зеленой массе в сухой массе	44,26 8,51	50,05 10,43	59,27 11,40	42,46 8,85	58,47 11,46	63,66 12,24	46,09 9,60	57,91 11,82	65,53 13,65
Сбор обменной энергии, ГДж/га	65,60	84,69	98,66	68,42	92,32	104,24	76,87	99,65	120,18
Затраты совокупной энергии, ГДж/га	29,39	32,9	34,51	29,37	36,34	37,00	29,37	36,29	39,46
Удельные затраты энергии, МДж на 1 ГДж/га ОЭ	448,03	388,47	349,78	429,25	393,62	354,97	382,07	364,18	328,33
АК (по обменной энергии)	2,23	2,57	2,86	2,33	2,54	2,82	2,62	2,75	3,05

Выводы

1. Переход от не орошаемого выращивания суданской травы к её орошению обеспечивает прирост урожая на 25...38 %. Дополнительная прибавка от повышения порога с 70...80 % до 80...90 % НВ составила в среднем 11,93 ц/га сухой массы (+10,6%).

2. При расчете по цене овса 2-го класса рентабельность на варианте 80 % НВ составляла от 71,2 % до 145,6 %. Чистый доход на варианте 80...90 % НВ был в 1,5...3 раза выше, чем на варианте 70...80 % НВ. Орошение дождеванием суданской травы улучшает качества её корма (содержание протеина, жира и т.д.), что увеличивает выход кормовых единиц с гектара (4,04...4,92 т.к.ед./га без орошения против 5,50...8,46 т.к.ед./га с орошением).

3. Прибавка сбора обменной энергии (ОЭ) на орошаемых участках по сравнению с контролем была стабильной и значительной во все годы проведения исследований, вариант 70...80 % НВ +19,8 ... +23,9 ГДж/га (+29...35 % относительно контроля), вариант 80...90 % НВ: +32,2 ... +44,2 ГДж/га (+47...60 % относительно контроля). Все варианты исследований, включая вариант без орошения, являются энергетически эффективными, так как агроэнергетический коэффициент (АК) > 1 (варьировал от 2,23 до 3,05). Максимальное значение АК=3,05 было достигнуто в 2022 году на варианте с орошением по порогу влажности 80...90 % НВ. Удельные затраты энергии снижаются с повышением уровня орошения. Например, в 2022 году: 382,07 МДж/ГДж (контроль); 364,18 МДж/ГДж (70...80 % НВ); 328,33 МДж/ГДж (80...90 % НВ).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа литературных источников установлено, что суданская трава, обладая высокой засухоустойчивостью, является перспективной кормовой культурой для условий восточной части Беларуси. Вместе с тем, для реализации её продуктивного потенциала и нивелирования последствий участвовавших засушливых периодов требуется применение орошения. Наиболее исследованным и рекомендуемым диапазоном регулирования влажности активного слоя почвы (0,4...0,6 м) для культуры является поддержание её на уровне (0,68...0,83) НВ. Выявлено отсутствие зональных параметров водопотребления и биоклиматических коэффициентов для суданской травы в условиях региона, а также необходимость совершенствования технических средств полива для снижения эрозионной опасности дождевания.

2. Впервые для дерново-подзолистых суглинистых почв восточной части Беларуси определено фактическое суммарное водопотребление суданской травы за вегетационные периоды, которое составило: в варианте без орошения – 316,4...359,7 мм; при поддержании влажности не ниже 70...80 % НВ – 394,3...417,6 мм; при поддержании влажности не ниже 80...90 % НВ – 442,6...476,7 мм. Установлены тесные корреляционные связи водопотребления с термическими условиями вегетации, на основе чего разработаны регрессионные модели (3.8...3.10) для прогноза водопотребления, обеспечивающие точность расчёта с отклонением от фактических значений в пределах 4,0...10,6 %.

3. Впервые для исследуемого региона получены и систематизированы зональные биоклиматические коэффициенты суданской травы, значения которых закономерно изменяются по фазам роста и составляют в диапазоне от 0,21 до 0,70 мм/мб.

4. В ходе натурных экспериментов на стоковых площадках выявлены ключевые факторы формирования поверхностного стока при дождевании. Доказано, что увеличение интенсивности дождя с 0,21 до 0,36 мм/мин и уклона участка с 0,003 до 0,006 приводит к кратному росту стока. Впервые для условий региона

количественно подтверждена регулирующая роль развитие листовой поверхности суданской травы свыше 100...130 см² на растении способствует снижению стока вплоть до его полного отсутствия. Установлено, что скорость впитывания воды в почву к концу часового дождевания стабилизируется на уровне 0,22...0,25 мм/мин, что является предельно допустимой интенсивностью для данного типа почв.

5. Разработана и запатентована новая конструкция мелкодисперсного дождевального насадка (патент РФ № 2852370). В результате лабораторных и полевых испытаний установлены его основные технические и технологические параметры: средний коэффициент расхода составляет $\mu = 0,842$, что свидетельствует о гидравлической эффективности конструкции; оптимальной признана конструкция с углом конуса дефлектора 120°, обеспечивающая среднюю интенсивность дождя (0,21...0,24 мм/мин), не превышающую скорость впитывания почвы; установлены рабочие диапазоны давлений и соответствующие им радиусы полива (для сопла 10 мм при напоре 0,22...0,33 МПа радиус составляет 11...13 м; для сопла 12 мм при напоре 0,27...0,35 МПа – 12...15 м); формируемый искусственный дождь характеризуется преимущественно мелкодисперсной структурой (средний диаметр капель 0,54...1,86 мм), а максимальная равномерность полива достигается в диапазонах давления 0,24...0,31 МПа (для сопла 10 мм) и 0,25...0,35 МПа (для сопла 12 мм).

6. Экономическая и энергетическая оценка подтвердила высокую эффективность рекомендуемых приёмов. Применение орошения обеспечило стабильную прибавку урожайности сухой массы: в среднем +25,0 % при режиме 70...80 % НВ и +38,3 % при режиме 80...90 % НВ. Максимальная урожайность зеленой массы (655,3 ц/га) и сухого вещества (136,5 ц/га) получена в 2022 г. на варианте с поддержанием влажности 80...90 % НВ. Орошение также улучшает качество корма: содержание сырого протеина возрастает с 9,8...10,6 % до 12,4...14,5 %. Рентабельность производства (в ценах на овёс 2-го класса) на орошаемых вариантах достигала 109,1 % (80...90 % НВ) против 55,9 % на контроле. Энергетическая эффективность подтверждается ростом агроэнергетического коэффициента с 2,23...2,62 без орошения до 3,05 при орошении (80 % НВ), что

свидетельствует о снижении удельных энергозатрат на производство кормовой энергии.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Для выращивания суданской травы на зелёную массу в восточной части Беларуси подходят сорта «Пружанская» и «Сенокосная 88» с учётом требований к условиям по посеву семян и уходом за данной культурой, включая внесение соответствующих доз удобрений, технологии производства работ и обработки гербицидами. С учётом агроэкологических требований при орошении дождеванием в начальные фазы развития суданской травы целесообразно применять мелкодисперсное дождевание. Для достижения максимального экономического эффекта при возделывании суданской травы на зеленую массу рекомендуется внедрение орошения с поддержанием влажности почвы на уровне $(0,68 \dots 0,83)$ НВ. Также и с энергетической точки зрения, режим орошения 80 % НВ является наиболее рациональным, так как обеспечивает максимальный выход полезной энергии на единицу совокупных энергозатрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агейкин, А.В. Математическая модель распределения искусственного дождя шлангового дождевателя / А.В. Агейкин, А.Р. Чесноков, Ю.Н. Тимошин, Ю.Х. Шогенов // Вестник рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2024. - №3. – С. 102-109.
2. Акпасов, А.П. Детализация распада струи на дефлекторе дождевальной насадки / А.П. Акпасов // Материалы Международной научно-технической конференции. – Тюмень, 2017. – С. 22 – 26.
3. Акпасов, А.П. Расширение технологических возможностей многоопорных дождевальных машин / А.П. Акпасов, Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко, А.А. Емельянов, С.А. Хорин, М.С. Органов // Использование мелиоративных земель – современное состояние и перспективы развития мелиоративного земледелия. – Тверь, 2015. – С. 212 – 216.
4. Акпасов, А.П. Совершенствование конструкции дефлекторных насадок для увеличения равномерности полива / А.П. Акпасов // «Проблемы и перспективы развития мелиорации в современных условиях» ВолжНИИГиМ. – Энгельс, 2016. – С. 87 – 93.
5. Акпасов, В.А. Расчет напорного трубопровода полосового дождевателя барабанного типа / В.А. Акпасов // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях. – Саратов, 2015. – С. 4 – 7.
6. Алабушев, А.В. Изменчивость и взаимосвязь количественных признаков суданской травы / А.В. Алабушев, Н.А. Ковтунова, В.В. Ковтунов, А.Е. Романюкин, Е.А. Шишова // Вестник российской с.-х. науки. – 2019. – № 4 июль-август. – С. 10-14.
7. Алпатов, А.М. О методах расчёта потребности в воде культурных фитоценозов в связи с развитием орошения в СССР / А.М. Алпатов // В кн.: Биологические основы орошаемого земледелия. М., 1974, с. 85-89.
8. Алпатов, С. М. Поливной режим сельскохозяйственных культур в южной части СССР / С.М. Алпатов. – Киев, 1965. – 88 с.

9. Анженков, А.С. Повышение качества дождевания при орошении животноводческими стоками: дис. канд. техн. наук: 06.01.02 / А.С. Анженков. – Горки, 2009. – 164 с.

10. Анохина, Т.А. О целесообразности возделывания суданской травы в Беларуси / Т.А. Анохина, Р.М. Кадыров, В.Н. Ульянич // Земляробства і ахова раслін. – 2007. - №5. – С. 15-18.

11. Анохина, Т.А. Возделывание суданской травы в Беларуси / Т.А. Анохина, Т.М. Кадыров, В.И. Ульянич // Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. материалов, 2-е изд., доп. и перераб. / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – С. 304 – 307.

12. Апажев, Л.К. Анализ факторов, влияющих на возникновение и развитие эрозионных процессов на склоновых землях / А.К. Апажев, Ю.А. Шекихачев, А.Г. Фиашев / Инновационная наука. – 2016. – № 3-3. – С 21-23.

13. Багров, М.Н. Сельскохозяйственные мелиорации: учебное пособие / М.Н. Багров, И.П. Кружилин. – М.: Агропромиздат, 1985. – 271 с.

14. Балкизов, А.Б. Эрозионно-допустимые нормы полива на южных черноземах при дождевании / А.Б. Балкизов, А.С. Сасиков, Б.Х. Амшонов // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2022. 1(35). С. 15–22. DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-15-22

15. Белокопытов, А.В. Методические аспекты формирования себестоимости сельскохозяйственной продукции / А.В. Белокопытов, Т.В. Голубева // Вестник БГСХА. – 2010. – № 1. – С. 8 – 11.

16. Бишоф, Э.А. Методические указания по статистической обработке экспериментальных данных в мелиорации и почвоведении / Э.А. Бишоф, Г.С. Калмыков. – Л.: типография № 6, 1977. – 270 с.

17. Бородычев, В.В. Алгоритм решения задач управления водным режимом почвы при орошении сельскохозяйственных культур/ В.В. Бородычев, М.Н. Лытов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 8-11.

18. Будник, С.В. Ливневый сток со склонов: монография / С.В. Будник. – Житомир: ЖГУ им. И. Франко, 2007. – 184 с.
19. Васильев, С.М. Дождевание / С.М. Васильев, В.Н. Шкура – Новочеркасск, РосНИИПМ, 2016. – 352 с.
20. Вихров, В.И. Оперативное планирование и прогноз режима орошения многолетних трав на минеральных почвах Белоруссии: дис. канд. техн. наук: 06.01.02 / В.И. Вихров. – Горки, 1988. – 186 с.
21. Вольф, В.Г. Статистическая обработка опытных данных / В.Г. Вольф. – М.: Колос, 1966. – 259 с.
22. Воронин, Н.Г. Орошаемое земледелие: учебное пособие / Н.Г. Воронин. – М.: Агропромиздат, 1989. – 336 с.
23. Вытовтов, В.А. Изучение равномерности распределения капель дождя по площади дождевания ПДУ / В.А. Вытовтов Рациональное землепользование: оптимизация земледелия и растениеводства: сборник докладов V Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения академика РАСХН А. П. Щербакова, Курск, 28-30 сентября 2021 г. – Курск: ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», 2021. – С. 65-70.
24. Вытовтов, В.А. Портативная лабораторно-полевая дождевальная установка / В.А. Вытовтов, Ю.П. Сухановский, А.В. Прущик. Патент на полезную модель РФ № 184625. Патентообладатель ФГБНУ «Курский научно-исследовательский институт агропромышленного производства». Заявка №2018112099, 03.04.2018, опубл. 01.11.2018, Бюл. №31.
25. Голченко, М.Г. Методика оценки сходства метеорологических условий при орошении земель в Нечернозёмной зоне / М.Г. Голченко // Регулирование водного режима дренированных минеральных почв: сб. науч. тр. / Лит. с. х. акад. – Каунас, 1987. – С. 23-26.
26. ГОСТ ИСО 7749-1–2004 Оборудование сельскохозяйственное оросительное. Аппараты дождевальные вращающиеся. Часть 1. Требования к конструкции и эксплуатационным характеристикам. – Москва, 2006. – 16 с.

27. ГОСТ ИСО 7749-2–2004 Оборудование сельскохозяйственное оросительное. Аппараты дождевальные вращающиеся. Часть 2. Равномерность орошения и методы испытаний. – Москва, 2020. – 12 с.

28. Государственный реестр сортов / Государственное учреждение «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений»; отв. ред. В.А. Бейня – Минск, 2020. – 270 с.

29. Дементьев, В.А. Ландшафты северной и средней Белоруссии. Опыт классификаций / В.А. Дементьев, Г.И. Марцинкевич. – Мн., 1960.

30. Демидов, В.В. Лабораторная дождевальная установка / В.В. Демидов, П.С. Шульга, Е.Н. Есафова // Патент на изобретение RU 171157 U1. Заявитель и патентообладатель ФГБНУ МГУ им. М.В. Ломоносова. Заявка № 2016110105, 21.03.2016, опубл. 23.05.2017, Бюл. №15.

31. Дождеватели Senninger [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://rainfineirrigation.ru/7-12-sprinkler-parts/195085>. – Дата доступа: 26.03.2024.

32. Донгузов, Г.С. Совершенствование режимов орошения кукурузы и суданской травы для условий саратовского заволжья: автореф. дисс. ... канд. т.-х. наук / Г.С. Донгузов. - Саратов, 2005. - 18 с.

33. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – Москва. Альянс, 2014. – 351 с.

34. Дронова, Т.Н. Возделывание суданской травы на корм в условиях орошения / Т.Н. Дронова, Н.И. Бурцева // Орошаемое земледелие. 2019. №3. С. 30-33.

35. Дронова, Т.Н. Влияние режимов орошения и расчётных доз удобрений на продуктивность суданской травы в Волгоградском Заволжье / Т.Н. Дронова, Н.И. Бурцева // Развитие АПК на основе принципов рационального природопользования и применения конвергентных технологий. Материалы Международной научно-практической конференции, проведенной в рамках Международного научно-практического форума, посвященного 75-летию образования Волгоградского государственного аграрного университета. 2019. С. 269-275.

36. Дубенок, Н.Н. Гидротехнические сельскохозяйственные мелиорации: учебник / Н.Н. Дубенок, К.Б. Шумакова; под ред. Н.Н. Дубенка. – Москва: Проспект, 2024. – 336 с.

37. Дубенок, Н.Н. Ресурсосберегающие и экологически обоснованные технологии орошения кормовых культур на склоновых землях центрального района России. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук. М., 1994 г.

38. Дубенок, Н.Н. Сорговые культуры на орошаемых землях Калмыкии / Н.Н. Дубенок, В.В. Бородычев, С.Б. Адьяев, Э.Б. Дедова // Вестник РАСХН. – 2009. № 5. – С. 41 – 43.

39. Дубенок, Н.Н. Ночные поливы и водосбережение при орошении суданской травы в условиях Оренбургского предуралья / Н.Н. Дубенок, А.П. Несват, И.И. Демченко // Плодородие. 2010. № 3 (54). С. 26-27.

40. Дубенок, Н.Н. Современные гидромелиоративные системы: учебное пособие / Н.Н. Дубенок, К.Б. Шумакова, С.О. Владимиров – Москва: Издательство РГАУ-МСХА, 2023. – 195 с.

41. Дубенок, Н.Н. Водопроницаемость почвы и поверхностный сток при дождевании суданской травы в условиях восточной части Беларуси / Н.Н. Дубенок, А.В. Гемонов, И.А. Левшунов // Мелиорация; Минск, 2025. – № 3 – С. 39 – 44.

42. Дубенок, Н.Н. Орошение дождеванием сенокосно-пастбищной травосмеси на дерново-подзолистых суглинистых почвах в условиях северо-восточной зоны Республики Беларусь / Н.Н. Дубенок, Д.В. Яланский, Ю.А. Мажайский, О.В. Черникова // Мелиорация и водное хозяйство. – 2020. – № 5. – С. 7-12.

43. Дубенок, Н.Н. Технология возделывания суданской травы на сено на бурых полупустынных почвах Калмыкии / Н.Н. Дубенок, В.В. Бородычев, Э.Б. Дедова // Достижения науки и техники АПК. - 2014. - №2. - С. 49-53.

44. Дьяченко, В.В. Совершенствование элементов технологии возделывания сорго травянистого на серых лесных почвах Брянского Ополья / В.В. Дьяченко // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур: сборник

статей по материалам XVII Междунар. науч.- практ. конф., посвящ. посвященной 95-летию агрономического факультета и 180-летию подготовки специалистов аграрного профиля. – Горки: БГСХА, 2021. – С. 96–100.

45. Егоров, И.Е Капельно-дождевая эрозия - рельефообразующее значение и методы изучения / И.Е. Егоров // Биология. Науки о земле. – 2015. – Т. 25, – Вып. 2. – С 159-166.

46. Елсуков, М.П. Суданская трава / М.П. Елсуков, А.П. Мовсисянц. – М.: Сельхозгиз, 1951. – 148 с.

47. Ермолина, Г.М. Региональные особенности селекции суданской травы / Г.М. Ермолина, Н.А. Ковтунова, А.Е. Романюкин, Е.А. Шишова // Аграрный вестник Урала. – 2017. – №4 (158). – С. 16-20.

48. Ерхов, Н.С. Определение крупности капель дождя с помощью бумажных фильтров / Н.С. Ерхов, Г.П. Лямперт // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1971. – № 10. – С. 31-33.

49. Ерхов, Н.С. Методика определения безнапорной водопроницаемости почв при поливе дождеванием / Н.С. Ерхов // Почвоведение. 1975. №9.

50. Есин, А.И. Исследование характеристик потока воды в водопроводящем поясе дождевальных машин / А.И. Есин, Д.А. Соловьев, Л.А. Журавлева // Научная жизнь. – 2018. - № 2 - С. 16-25.

51. Есин, А.И. Обтекание конического дефлектора потоком вязкой несжимаемой жидкости / А.И. Есин, Д.А. Соловьев, А.А. Акпасов, Л.А. Журавлева // Научная жизнь. – 2018. – № 4. – С.14-19.

52. Есин, А.И. Ресурсосберегающие технологии и дождевальные машины кругового действия: монография / А.И. Есин, Л.А. Журавлева, В.А. Соловьев // Саратов 2019. – С.213.

53. Желязко, В.И. Изучение допустимой интенсивности прерывистого дождевания на дерново-подзолистых суглинистых почвах на примере машины Bauer «RainstarT-6I» / В.И. Желязко, В.М. Лукашевич // Мелиорация. - 2014. - №1 (71). - С 31-37.

54. Желязко, В.И. Качество искусственного дождя при дождевании машиной Bauer «RainstarT-61» / В.И. Желязко. В.М. Лукашевич. Вестн. Белорус, гос. с-х.акад.-2014. – № 1. – С. 135-139.

55. Желязко, В.И. Экономическая эффективность орошения сои на минеральных почвах северо-восточной части Беларуси / В.И. Желязко, Е.А. Вчерашний // Мелиорация; Минск, 2025. – № 1 – С. 5 – 12.

56. Журавлева Л.А. Равномерность распределения воды при орошении дождевальными насадками / Л.А. Журавлева // Проблемы и перспективы инновационного развития мирового сельского хозяйства. Сб. статей 6 Межд. науч.-практ. конф. – Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2016. – С. 100-102.

57. Журавлева, Л.А. Дождеватели широкозахватных дождевальных машин: монография / Л.А. Журавлева, И.А. Попков, М.С. Магомедов, Х. Бассел. – Москва, 2022. – 140 с.

58. Журавлева, Л.А. Исследования равномерности распределения дождя при поливе широкозахватной дождевальной техникой / Л.А. Журавлева // Научная жизнь. 2024. Т. 19. № 1 (133). С. 8-16.

59. Журавлева, Л.А. Технологические решения экологически безопасного полива широкозахватными дождевальными машинами для почв слабой водопроницаемости / Л.А. Журавлева // Аграрный научный журнал – 2021. – № 2. – С. 83-86.

60. Иванова, О.И. Анализ эрозионных процессов на территории юга Красноярского края / О.И. Иванова // Сб. научных трудов IX Международная научно-практическая конференция «Роль науки и технологий в обеспечении устойчивого развития АПК», Нальчик, 2021. С. 258–262.

61. Каўрыга, П.А. Кліматалогія / П.А. Каўрыга – Мінск: БДУ, 2008. – 215 с.

62. Климат и средняя погода круглый год [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.weatherspark.com/> – Дата доступа: 20.05.2024.

63. Ковалевская, Л.И. Энергетическая и экономическая эффективность возделывания нового сорта клевера лугового ГПТТ-ранний // Л.И. Ковалевская, В.И. Бушуева // Вестник БГСХА. – 2018. – № 1. – С. 33 – 36.

64. Ковель, П.В. Методология системной оценки окупаемости капитальных вложений в производство сельскохозяйственных предприятий / П.В. Ковель // Вестник БГСХА. – 2012. – № 3. – С. 24 – 36.

65. Ковтунова, Н.А. Биологические особенности роста и развития суданской травы / Н.А. Ковтунова // Достижения науки и техники в АПК. – 2016 – Т. 30, № 6 – С. 48–51.

66. Ковтунова, Н.А. Влияние метеорологических условий на урожайность и качество зеленой массы суданской травы / Н.А. Ковтунова, В.В. Ковтунов, Е.А. Шишова // Вестник российской сельскохозяйственной науки. - 2016. - №3. - С. 39-41.

67. 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. – 2018. – Т.4. №4(16). – С. 35-44

68. Ковтунова, Н.А. Рост и развитие сорго в засушливых условиях / Н.А. Ковтунова, Г.М. Ермолина, Е.А. Шишова, С.И. Горпиниченко, А.Е. Романюкин // Роль русских ученых в становлении и развитии дагестанской аграрной науки. Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 70-летию доцента Арнаутовой Г.И. Махачкала: ФГБОУ ВО «ДагГАУ». – 2017. – С.115-120

69. Ковтунова, Н.А. Суданская трава и технология ее возделывания / Н.А. Ковтунова, Е.А. Шишова, А.Е. Романюкин, Г.В. Метлина // Фермер. Поволжье. – 2017. – №2. – С. 56-58

70. Коконов, С.И. Реакция суданской травы Чишминская ранняя на способ посева и норму высева в Среднем Предуралье / С.И. Коконов, В.З. Латфуллин // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 3(121). – С. 6-9.

71. Коледа, К.В. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур: рекомендации / К.В. Коледа, А.А. Дудук – Гродно: ГГАУ, 2010. – 340 с.

72. Корзун, О.С. Опыт возделывания суданской травы в Республике Беларусь / О.С. Корзун, С.В. Исаев // Материалы конференции «Проблемы сельскохозяйственного производства на современном этапе и пути их решения». XII международная научно-производственная конференция. – Белгород, 2008. – Издательство Белгородской ГСХА, - С. 52.

73. Кормопроизводство: учеб. пособие / А.А. Шелюто [и др.]; под ред. А.А. Шелюто. – Минск.: ИВЦ Минфина, 2009. – 472 с.

74. Костяков, А.Н. Основы мелиораций / А.Н. Костяков – М.: Сельхозгиз, 1960. – 622 с.

75. Кружилин, И.П. Суданская трава на орошаемых землях России / И.П. Кружилин, В.П. Часовских. - Волгоград: Комитет по печати, 1997. – 144 с.

76. Крюкова, Т.И. Посевные качества и урожайные свойства суданской травы в зависимости от фракционирования семян / Т.И. Крюкова, Г.Г. Голева, А.Н. Боровкова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4 (47). – С. 22-26

77. Кузенкова, А.А. Энергосберегающая политика в организациях агропромышленного комплекса Республики Беларусь / А.А. Кузенкова // Вестник БГСХА. – 2016. – № 2. – С. 44 – 47.

78. Куколева, С.С. Селекция суданской травы на продуктивность и качество кормовой массы в условиях Саратовской области / С.С. Куколева, Д.С. Семин, Г.И. Костина, С.В. Лящева, О.П. Кибальник, О.Б. и др. // Экологическая стабилизация аграрного производства. Научные аспекты решения проблем. Сборник докладов. – 2015. – С.63-68.

79. Кушнарев, А.Г. Сроки посева суданской травы в сухостепной зоне Бурятии / А.Г. Кушнарёв, Н.Б. Мардваев, С.Н. Шапсович // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – № 9. – Барнаул, 2011. С. 11-15.

80. Лагун, Т.Д. Учёт структуры осадков при обосновании поливного режима садов и ягодников / Т.Д. Лагун // Актуальные проблемы строительства и эксплуатации мелиоративных и водохозяйственных систем: сб. науч. тр. / БГСХА; редкол.: П.У. Равовой [и др.]. – Горки, 1984. – вып. 117 – С. 40-44.

81. Ларионова, А.М. Пути повышения качества полива дождевальными машинами / А.М. Ларионова, Г.А. Михалева, Е.В. Шевцов // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Сб. науч. трудов Межд. науч.-практ. Конф, 2016. – С.360-365

82. Леонович, И.И. Климат Республики Беларусь: учебное пособие / И.И. Леонович. – Мн.: БНТУ, 2012. – 173 с.

83. Лихацевич, А.П. Орошаемое плодовоовощеводство: учеб. пособие / А.П. Лихацевич, М.Г. Голченко; под ред. А.П. Лихацевича. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 287 с.

84. Лихацевич, А.П. Оценка факторов формирующих неустойчивую влагообеспеченность сельскохозяйственных культур в гумидной зоне / А.П. Лихацевич, Е.А. Стельмах – Мн.: ООО «Белпринт», 2002. – 212 с.

85. Лихацевич, А.П. Исследования режима дождевания и мелкодисперсного увлажнения многолетних трав на торфяно-болотных почвах Белорусского Полесья: дис. канд. техн. наук: 06.01.02 / А.П. Лихацевич. – Минск: БелНИИМиВХ, 1982. – 196 с.

86. Лукашевич, В.М. Водный режим дерново-подзолистых суглинистых почв и его регулирование при дождевании японского проса в условиях северо-восточной зоны Беларуси: автореф. дис. канд. с-х. наук / В.М. Лукашевич – Минск., 2016. – 26 с.

87. Лукашевич, В.М. Режим орошения репчатого лука в условиях северо-восточной части Беларуси / В.М. Лукашевич, А.А. Константинов // Мелиорация; Минск, 2025. – № 2 – С. 17 – 23.

88. Максимова, Н.С. Основная обработка почвы и применение удобрений при выращивании сорговых культур на чернозёмах Волгоградской области / Н.С. Максимова // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур: сборник статей по материалам XVII Междунар. науч.- практ. конф., посвящ. посвященной 95-летию агрономического факультета и 180-летию подготовки специалистов аграрного профиля. – Горки: БГСХА, 2021. – С. 210–213.

89. Манжина, С.А. К вопросу разработки лабораторной установки для модельного исследования деградации почв (на примере водной эрозии) / С.А. Манжина // Мелиорация и гидротехника – 2022. – Т. 12. – № 3. – С. 76-91. – DOI 10.31774/2712-9357-2022-12-3-76-91.

90. Мастеров, А.С. Влияние срока сева на урожайность зелёной массы суданской травы / А.С. Мастеров, Хань Вэньюань // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур: сборник статей по материалам XVIII Междунар. науч.-практ. конф. – Горки: БГСХА, 2021. – 184 с.

91. Методические указания по оценке качества и питательных кормов, ЦИНАО. – Москва. – 2002. – 75 с.

92. Методические указания управлениям гидрометслужбы №84. Производство комплексных воднобалансовых наблюдений на опорных пунктах. Л., Гидрометеиздат, 1973. 160 с.

93. Методическое пособие по агроэнергетической оценке технологий и систем ведения кормопроизводства / Б.П. Михайличенко, А.С. Шпаков, А.А. Кутузова. М.: Россельхозакадемия, 2000. 52 с.

94. Методические рекомендации по определению оптимальных поливных и оросительных норм для сельскохозяйственных культур / А.С. Анженков и др.; РУП «Институт мелиорации». – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – 24 с.

95. Милехина, Н. В. Смешанные посевы зернобобовых культур с суданской травы в Брянской области / Н.В. Милехина // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур: сборник статей по материалам XVII Междунар. науч.- практ. конф., посвящ. посвященной 95-летию агрономического факультета и 180-летию подготовки специалистов аграрного профиля. – Горки: БГСХА, 2021. – С. 222–226.

96. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/Agroklimaticheskoe-zonirovanie-Respubliki-Belarus.pdf>. – Дата доступа: 26.05.2024.

97. Михальцевич, А.И. Режим орошения культурных пастбищ на торфяно-глеевых почвах Полесья / А.И. Михальцевич, К.С. Пантелей, Н.Я. Гриневич // Мелиорация переувлажненных земель: труд. БелНИИМиВХ. Минск: Ураджай, 1976. – С. 98–110.

98. Муслимов, М.Г. Сорговые культуры – надежный источник кормов для животноводческой отрасли республики Дагестан. Пути повышения эффективности аграрной науки в условиях импортозамещения / М.Г. Муслимов, А.А. Акоев // Сборник научных трудов. – Махачкала. – 2017. – С. 105-108.

99. Надежкина, Г.П. / Равномерность полива ДМ «Фрегат» с устройствами приповерхностного дождевания / Г.П. Надежкина, В.В. Слюсаренко. // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях. Матер. III Межд. науч.-практич. конф. – Саратов: ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2016. – С.12-16.

100. Надежкина, Г.П. Экологическая совместимость ДМ «Фрегат» с почвой / Г.П. Надежкина, В.В. Слюсаренко, А.П. Акпасов, З.З. Дасаева //Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях. – Саратов, 2015. – С. 50 – 55.

101. Надежкина, Г.П. Совершенствование устройств приповерхностного полива дождевальной машины «Фрегат»: дисс. канд. техн. наук: 06.01.02 / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2014. – 167 с.

102. Надежкина, Г.П. Энергетические показатели дождя ДМ «Фрегат» / Г.П. Надежкина, В.В. Слюсаренко, А.П. Акпасов // «Известия» Самарская ГСХА. – 2015. - № 3 – С. 20-22.

103. Наседкина, М.Б. Потенциальная продуктивность совместных посевов суданской травы в условиях низкогорий горного Алтая / М.Б. Наседкина // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей. В 3 кн. / Международная научно-практическая конференция. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2006. Кн. 1. – С. 384-386.

104. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справ. Пособие / А.П. Калашников [и др.]. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Россельхозакадемия, 2003. – 456 с.

105. Нуруллаев, А.К. Определение влияния крутизны склона и интенсивности осадков на развитие эрозии почвы в условиях модели искусственного дождевания / А.К. Нуруллаев, Г.Т. Джалилова / Научное обозрение. Биологические науки. – 2024. – №1. – С. 51-56. – DOI 10.17513/srbs.I354.

106. Обумахов, Д.Л. Допустимые технологические параметры искусственного дождя при орошении дождеванием сельскохозяйственных угодий / Д.Л. Обумахов, В.Н. Шкура, А.А. Чураев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. № 1(21). С. 60–74.

107. Ольгаренко, Г.В. Ресурсосберегающие эффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения. Справочник. / Г.В. Ольгаренко, В.И. Городничев, А.А. Алдошкин [и др.]. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 264 с.

108. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч. практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф.И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В.Г. Гусакова, Ф.И. Привалова. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 469 с.

109. Оросительные системы. Правила проектирования. ТКП 45-3.04-178-2009 (02250). – Минск, 2010. – 72 с.

110. Особенности возделывания многоукосных однолетних ценозов и сорговых культур / Н. П. Лукашевич [и др.]. - Витебск: ВГАВМ, 2008. – 44 с.

111. Пат. 2173584 Российская Федерация В05В 1/18, 1/26. Насадок дождевального агрегата / В.Г. Абезин, В.В. Карпунин, В.В. Карпунин, В.А. Дранников, А.М. Малдаев; заявитель и патентообладатель Поволжский научно-исследовательский институт эколого-мелиоративных технологий. – № 2000125119; заявл. 04.10.2000; опубл. 20.09.2001. – Изобретения. Полезные модели. – № 26. – 4 с.

112. Пат. 2305603 Российская Федерация В05В 1/18, В05В 1/26. Дождевальный насадок / В.Г. Абезин, В.В. Карпунин, В.В. Карпунин, С. Я. Семененко; заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение

Поволжский научно-исследовательский институт эколого-мелиоративных технологий Российской академии сельскохозяйственных наук – № 2006105564; заявл. 22.02.2006; опубл. 10.09.2007. – Изобретения. Полезные модели. – № 25. – 6 с.

113. Пат. 2327530 Российская Федерация В05В 1/18. Дождевальная насадка / В.Г. Абезин, В.В. Карпунин, А.С. Овчинников; заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение Поволжский научно-исследовательский институт эколого-мелиоративных технологий Российской академии сельскохозяйственных наук – № 2006140003; заявл. 13.11.2006; опубл. 27.06.2008. – Изобретения. Полезные модели. – № 18. – 5 с.

114. Пат. 2852370 Российская Федерация В05В 1/18. Мелкодисперсная дождевальная насадка / Н.Н. Дубенок, И.А. Левшунов, М.И. Голубенко, Ю.А. Мажайский; заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью «Мещерский научно-технический центр» – № 2025112550; заявл. 12.05.2025; опубл. 08.12.2025. – Бюл. № 34. – 7 с.

115. Плескачëв, Ю.Н. Влияние норм высева на продукционный процесс суданской травы при орошении / Ю.Н. Плескачëв, Ю.А. Лаптина, О.Г. Гиченкова // Орошаемое земледелие – 2020. – № 4. – С. 41-44. – DOI 10.35809/2618-8279-2020-4-8.

116. Погода в Беларуси [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pogoda.by/> – Дата доступа: 20.05.2024.

117. Полевая и лабораторная практика по почвоведению: Учеб. пособие / В. С. Аношко, Н. А., Гецевич, А. Ф. Черныш, Н. К. Чертко; под ред. В. С. Аношко. – 3-е изд., перераб. и доп. – Мн.: БГУ, 2003. – 150 с.

118. Полевое исследование и картографирование почв БССР: Метод. указания / Под ред. Н. И. Смеяна и др. – Мн.: Ураджай, 1990. – 219 с.

119. Полюдина, Р.И. Новые сорта суданской травы для Запада Сибири и Казахстана / Р.И. Полюдина, В.М. Гришин // Генофонд и селекция растений, посвященный 130-летию Н.И. Вавилова. Тезисы докладов. – Новосибирск. – 2017. – С. 53-54.

120. Практикум по почвоведению / Под ред. И. С. Кауричева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986. – 336с., ил.

121. Приёмы посева суданской травы в Среднем Предуралье / С.И. Коконов, В.З. Латфуллин, И.Ш. Фатыхов [и др.] // Кормопроизводство. – 2014. – № 9. – С. 29-33.

122. Прокопец, Р.В. Оценка эрозионной опасности почвы при орошении широкозахватными дождевальными машинами / Р.В. Прокопец, Б.В. Фисенко, В.В. Корсак // Мелиорация и водное хозяйство. 2023. № 3. С. 32–36.

123. Прущик, А.В. Методические рекомендации по применению портативной лабораторно-полевой дождевальной установки / А.В. Прущик, Ю.П. Сухановский, В.А. Вытовтов, Ю.О. Рубаник, С.А. Тарасов. – Курск: ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2024. – 49 с.

124. Пчелкин, В.В. Обоснование мелиоративного режима осушаемых пойменных земель / В.В. Пчелкин. – М.: КолосС, 2003. – 253 с.

125. Пыленок, П.И. Водосбережение при мелиорации земель нечернозёмной зоны России / П.И. Пыленок, Р.О. Ефремов // Орошаемое земледелие. – 2025. - №3. – С. 53 – 59.

126. Рахманов, И.В. Продуктивность суданской травы в зависимости от норм высева и минерального питания в условиях Закамья Татарстана: автореф. дисс. канд. с.-х. наук / И.В. Рахманов. - Йошкар-Ола, 2014. - 22 с.

127. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь: по состоянию на 1 января 2023 г. – Минск: Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь 2023. – 58 с.

128. Роговой, П.П. Водный режим почво-грунтов на территории Белоруссии / П.П. Роговой. – Минск: Наука и техника, 1972. – 304 с.

129. Романюкин, А.Е. Сорго как кормовая культура / А.Е. Романюкин, Н.А. Ковтунова, Е.А. Шишова, С.И. Горпиниченко, Г.М. Ермолина // Фермер. Поволжье. – 2018. – №3. – С. 40-41.

130. Рубаник, Ю.О. Методические рекомендации по расчету среднемноголетнего смыва почв в открытой геоинформационной системе QGIS. /

Ю.О. Рубаник, А.В. Гостев, А.Н. Золотухин, И.В. Подлесных. – Курск: ФГБНУ Курский ФАНЦ, 2024. – 96 с.

131. Русинов, А.В. Изменение физико-механических свойств мелиоративных почв в результате механического воздействия / А. В. Русинов, В. В. Слюсаренко // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях. – Саратов, 2015. – С. 30 – 34.

132. Русинов, Д.А. Исследования качественных показателей дождя, создаваемого дождевальными насадками с вращающимся дефлектором / Д.А. Русинов, А.В. Кравчук, Д.А. Колганов // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: матер. IX Междунар. науч.-практ. конф. / ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». – Саратов: Амирит, 2022. – С. 78–83.

133. Русинов, А.В. Сохранение плодородия сельскохозяйственных почв за счет снижения негативного воздействия дождя дождевальных машин / А.В. Русинов, А.П. Акпасов, Д.А. Русинов. // Развитие научного наследия великого ученого на современном этапе: Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 95-летию члена-корреспондента РАСХН, Заслуженного деятеля науки РСФСР и РД, профессора М.М. Джамбулатова. – Махачкала, 2021. – С. 234–241.

134. Рыжко, Н.Ф. Эффективность технологии приповерхностного полива многоопорными дождевальными машинами кругового действия / Н.Ф. Рыжко, Н.В. Рыжко, Н.С. Рыжко, Е.А. Шишенин // Орошаемое земледелие. – 2020. – № 1. – С. 50-53. – DOI 10.35809/2618-8279-2020-1-11

135. Рыжко, Н.Ф. Энергосбережение при поливе многоопорными дождевальными машинами / Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко, Е.С. Смирнов, С.А. Хорин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2021. № 6. – С 25-30.

136. Рыжко, С.Н. Усовершенствование устройств приповерхностного дождевания для ДМ «Фрегат» и их экономическая эффективность / С.Н. Рыжко, О.В. Карпова, С.А. Хорин / сб. науч. тр. [матер. III Межд. науч.-практ. кон. молодых ученых и специалистов «Актуальные научные исследования в области мелиорации». – Новочеркасск, РосНИИПМ, – Выпуск № 3(63) / 2016. – С. 107-111.

137. Рыжко, Н.Ф. Обоснование ресурсосберегающего дождевания и совершенствование дождевальной машины «Фрегат» в условиях Саратовского Заволжья: дисс. д-ра техн. наук: 06.01.02 / ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ". – Саратов, 2012. – 459 с.

138. Рыжко, Н.Ф. Совершенствование дождевальных машин и устройств для мелиоративного комплекса: науч.-практ. изд. / Н.Ф. Рыжко, Е.С. Смирнов, С.Н. Рыжко, Е.А. Шишенин, Б.Н. Бельтиков. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. – 124 с.

139. Рыжко, Н.Ф. Совершенствование конструкции многоопорной дождевальной машины «Волга-СМ» с полиэтиленовым трубопроводом / Н.Ф. Рыжко, И.А. Шушпанов, Ю.А. Гопкалов, А.П. Акпасов, С.Н. Рыжко, М.С. Органов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – Новочеркасск, 2015. - № 4. – С. 166 – 170.

140. Рыжко, Н.Ф. Улучшение качественных показателей полива дождевальных машин путем совершенствования дождевателей / Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко, А.Г. Лапшова, М.С. Органов, С.А. Хорин // Использование мелиоративных земель – современное состояние и перспективы развития мелиоративного земледелия. – Тверь, 2015. – С. 216 – 220.

141. Рыжко, С. Н. Совершенствование дождевальной машины ферменной конструкции для улучшения технических характеристик и качественных показателей полива: дис. канд. техн. наук: 06.01.02 / Рыжко Сергей Николаевич. – Саратов, 2022. – 161 с.

142. Рязанцев, А.И. Исследование почвощадающей технологии полива шланговым дождевателем / А.И. Рязанцев, В.С. Травкин, Г.К. Рембалович, М.Ю. Костенко, Е.Ю. Евсеев // Вестник РГАУ им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16. – № 3. – С. 157-163. – DOI 10.36508/RSATU.2024.25.47.020

143. Сідор, С. І. Географія Беларусі / С. І. Сідор – Мн., 2000.

144. Сальников, А.Л. Совершенствование конструкций дождевателей для мобильных дождевальных машин / А.Л. Сальников, В.Е. Руденко, А.Г. Беспалов,

В.Г. Абрезин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2013. – №4 – С. 209-214.

145. Сатункин, И.В. Влияние расчетных норм минеральных удобрений и норм высева семян на продуктивность и качество суданской травы при орошении / И.В. Сатункин, Ю.А. Гулянов, И.М. Головкина // в сборнике: Мелиорация в России: потенциал и стратегия развития. Международная научно-практическая интернет-конференция, посвященная 50-летию масштабной программы развития мелиорации земель. – Волгоград: ВНИИОЗ, 2016. – С. 121-124.

146. Смирнов, Е.С. Совершенствование многоопорной дождевальной машины кругового передвижения вантовой конструкции с полиэтиленовым трубопроводом: дисс. канд. техн. наук: 4.1.5 / ФГБНУ «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации». – Саратов, 2024. – 156 с.

147. Соболев, С.С. Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними / С.С. Соболев / АН СССР. М.; Л., Т. I 1948. 308 с. Т 2, 1960. – 248 с.

148. Соболев, Н.В. Применение метода дождевания при изучении эрозионных процессов в лабораторных условиях / Н.В. Соболев, А.М. Ахметов // Новое слово в науке и практике: гипотезы и апробация результатов исследований. – 2015. - № 15 – С 152-155.

149. Совершенствование дождевальных машин и устройств для мелиоративного комплекса: науч.-практ. изд. под ред. Н.Ф. Рыжко – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023 – 124 с.

150. Соловьев, Д.А. Совершенствование устройств приповерхностного дождевания для ДМ «Фрегат» / Д.А. Соловьев, О.В. Карпова, Н.Ф. Рыжко, С.Н. Рыжко // Аграрный научный журнал. Саратов: Саратовский ГАУ им. Вавилова. 2016. – №3. – С. 65-68.

151. Соломко, О.Б. Методика определения площади листьев / О.Б. Соломко, О.С. Ключкова, Г.В. Цветков // Инновации в технологиях возделывания

сельскохозяйственных культур. Сборник статей. – 2011. – Режим доступа: <http://agrosbornik.ru/innovacii1/106-2011>

152. Справочник агронома / И.Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И.Р. Вильдфлуша, П.А. Саскевича. – Горки: БГСХА, 2017. – 315 с.

153. Справочник нормативов трудовых и материальных затрат для ведения сельскохозяйственного производства / Нац. акад. наук Беларуси; Институт экономики - Центр аграрной экономики; под ред. В. Г. Гусакова; сост. Я. Н. Бречко, М. Е. Сумонов. - Минск: Бел. наука, 2006. — 709 с.

154. Справочник по климату Беларуси, ч. 1, Температура воздуха и почвы – Минск: государственный климатический кадастр, 2017. – 85 с.

155. Справочник по климату Беларуси, ч. 2, Осадки – Минск: государственный климатический кадастр, 2017. – 64 с.

156. Справочник по орошению дождеванием / под ред. М.Г. Голченко, А.И. Михальцевича. – Минск: Ураджай, 1993. – 152 с.

157. Степанов, А.Ф. Сравнительная характеристика сортов суданской травы / А.Ф. Степанов, Р.Н. Туменов // Новая наука: опыт, традиции, инновации. – 2016. – №11(2). – С. 204-206.

158. СТО АИСТ 11.1-2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей. – Москва, 2012. – 54 с.

159. Сурмач, Г.П. К методике определения водопроницаемости и ливневого стока / Г.П. Сурмач // Борьба с эрозией и повышение плодородия эродированных почв Украины: материалы республиканского совещания / Украинская акад. сельхоз. наук; отв. ред.: Н.К. Крупский – Киев, 1962. – С. 265-279.

160. Сухановский, Ю.П. Методика дождевания стоковых площадок для исследования эрозионных процессов / Ю.П. Сухановский, А.И. Санжаров, О.Г. Чуян, и др. – Курск: ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2005. – 30 с.

161. Сухановский, Ю.П. Методика определения потерь из почвы биогенных веществ с использованием портативной дождевальной установки // Ю.П.

Сухановский, В.А. Вытовтов, Ю.А. Соловьева и др. Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 6. – С. 68-71.

162. Сухановский, Ю.П. Моделирование водной эрозии почв монография / Ю.П. Сухановский, А.В. Прущик. – Курск: ФГБНУ Курский ФАНЦ, 2023. – 175 с.

163. Сухарев, И.П. Регулирование и использование местного стока / И.П. Сухарев. – М.: Колос, 1967. – 198 с.

164. Таранич, Ю.В. Разработка приемов возделывания суданской травы в моно и поливидовых фитоценозах в условиях Сахалина / Ю.В. Таранич, В.А. Чувилина // Дальневосточный аграрный вестник. – 2015. – №1. – С. 50-53.

165. Турапин, С.С. Современные задачи и перспективные пути повышения эффективности и надёжности широкозахватных дождевальных машин / С.С. Турапин, И.А. Костоварова / Экология и строительство. – М., 2018. – № 3. – С. 17-26.

166. Ульянчик, В.И. Суданская трава в условиях юго-запада Беларуси / И.В. Ульянчик, Ф.Н. Зарецкий // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. VII Международный симпозиум: Материалы конференции. Том I. – М.: Изд-во РУДН, 2007. – С. 205-208.

167. Филимонов, М.И. Дефлекторно-эжекторные дождевальные насадки для энерго- и ресурсосберегающего орошения / М.И. Филимонов, А.Е. Новиков, М.И. Ламскова // Альманах – 2017. – Волгоград. – С.115-122.

168. Хожанов, Н.Н. Технология режима орошения суданской травы сточными водами / Н.Н. Хожанов, К.А. Естаев // Механика и технологии. 2015. №1(47). С. 81-86.

169. Цыбулька, Н.Н. Эродированные почвы: распространение, свойства, плодородие / Н.Н. Цыбулька // Мелиорация; Минск, 2006. – № 2 – С. 146 – 158.

170. Цыганкова, А.В. О возможности возделывания суданской травы в Республике Беларусь // А.В. Цыганкова, О.С. Корзун // Материалы X Международной студенческой конференции. Гродно, 2009. – Издательско-полиграфический отдел УО «ГГАУ» - С. 54-56.

171. Чирко, Е.М. Влияние метеорологических условий на современную продуктивность суданской травы в условиях юго-западной части Беларуси / Е.М. Чирко, Т.В. Гончаревич // Земледелие и защита растений. – 2020. – №2. – С. 7-10.

172. Чунихин, В. И. Современная оросительная мелиорация – основа развития сельскохозяйственного производства / В. И. Чунихин // Орошаемое земледелие. – Волгоград., 2015. – № 2. – С. 21-22.

173. Шатилов, И.С. Суданская трава / И.С. Шатилов, А.П. Мовсисянц, И.А. Драненко // под ред. И.С. Шатилова. – М.: Колос, 1981. – 205 с.

174. Шелюто, А.А. Оценка энергетической эффективности технологий в кормопроизводстве / А.А. Шелюто // Методическое пособие. – Горки: БГСХА; 2-е изд., перераб. и доп. – 2011. – 40 с.

175. Шепелев, А.Е. Дождеобразующие устройства зарубежной широкозахватной многоопорной дождевальнoй техники / А.Е. Шепелев, В.Э. Завалюев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – Новочеркасск, 2015. – №3. – С.191-195.

176. Шибут, Л.И. Современное состояние сельскохозяйственных земель Беларуси / Л.И. Шибут, Т.Н. Азаренок, О.В. Матыченкова // Земледелие и защита растений. – 2020. – №2. – С. 3-7.

177. Шишова, Е.А. Качество зеленой массы коллекции суданской травы / Е.А. Шишова // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и профессиональное образование. – 2017. – № 2 (46). – С. 145-151.

178. Штепа, Б. Г. Механизация полива: справочник / Б. Г. Штепа, В. Ф. Носенко, Н.В. Винникова и др. – Москва: Агропромиздат, 1990. – 336 с.

179. Щедрин, В.Н. Негативные почвенные процессы при регулярном орошении различных типов почв / В.Н. Щедрин, Л.М. Докучаева, Р.Е. Юркова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации– Новочеркасск, 2018, №2. – С.1-21.

180. Эколого-энергетическое совершенствование многоопорных дождевальных машин / С. С. Турапин, Г. В. Ольгаренко, А. И. Рязанцев, А. О. Антипин // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 3. С. 30–36.

181. Юрченко, И. Ф. Перспективные технологии инновационного орошения / И.Ф. Юрченко // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 4. С. 233–245.

182. Яланский, Д.В. Водный режим минеральных почв и его регулирование при орошении дождеванием сенокосно-пастбищной травосмеси: дисс. канд. техн. наук: 06.01.02 / ФГБОУВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева». – Москва, 2021. – 191 с.

183. Awad, A. Grain yield production of Sudan grass (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) as influenced by cutting numbers, potassium rates, and intrarow spacing in a semiarid environment / A. Awad, S. Hafiz, M. Sabry Hammada, A. E-Nouby, S. El-Hendaw // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. – 2013. – №37. – P. 657-664.

184. Belous, N.M. Agrobiological characteristics of aftermath ability and shoot structure in cultivation of fodder sorghum / N. M. Belous, S. A. Belchenko, A. V. Dronov, V. V. Dyachenko, V. E. Torikov // Journal of Environmental Treatment Techniques. – 2019. – Vol.7, Issue 4. – P. 623–630.

185. Bibi, A. Correlation analysis among forage yield and quality components in Sorghum sudangrass hybrids under water stress conditions / A. Bibi, M. Zahid, H. Sadanat, F. Fatima // Global journal of Bioscience and Biotechnology. – 2016. – №5(4). – P. 444-448.

186. KometAustriaGmbH. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.kometirrigation.com – Дата доступа: 23.06.2024.

187. Fletcher, S. The potential of sorghum sudangrass as a marketable cover crop in Canada/ S. Fletcher, 2019. – 22 p. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.sare.org/Learning-Center/Books/Managing-Cover-Crops-Profitably-3rd-Edition/Text-Version/Nonlegume-Cover-Crops/Sorghum-Sudangrass>.

188. Jiao Jian. Comparison of Water Distribution Characteristics for Two Kinds of Sprinklers Used for Center Pivot Irrigation Systems / Jian Jiao, Yadong Wang, Liliang Han and Derong Su // Research Center for Grassland Resources and Ecology, Beijing Forestry University. Published: 21 April, 2017 – P. 1-17.

189. Kisambuli Eric Kilaka. The effects of windbreaks on the effectiveness of sprinkler irrigation systems / Eric Kisambuli Kilaka. // Waterways Centre for Fresh-water Management University of Canterbury Christchurch, New Zealand, 2015. – P. 169.

190. Kiziloglu, F.M. Determining water–yield relationship, water use efficiency, crop and pan coefficients for silage maize in a semiarid region / F.M. Kiziloglu, U. Sahin, Y. Kuslu, T. Tunc // Irrig Sci. – 2009. – №27. – P. 129-137.

191. Loudermilk, W.C. Further studies of factors affecting surficial run – off and erosion. Proceedings of the International Congress of Forestry Experimental Stations / W.C. Loudermilk – Stockholm, 1947.

192. Mahmoodabadi, M. Effects of rain intensity, slope gradient and particle size distribution on the relative contributions of splash and wash loads to rain-induced erosion / M. Mahmoodabadi, S. A. Sajjadi // Geomorphology. – 2016. – Vol. 253. – No 1. – P. 159-167. – DOI 10.1016/j.geomorph.2015.10.010.

193. Marsalisa, M.A. Dry matter yield and nutritive value of corn, forage sorghum, and BMR forage sorghum at different plant populations and nitrogen rates / M.A. Marsalisa, S.V. Angadi, F.E. Contreras-Govea // Field Crop. – 2010. – №116. – P. 52-57.

194. Morris, G.P. Population genomic and genome-wide association studies of agroclimatic traits in sorghum / G.P. Morris, P. Ramu, S.P. Deshpande, C.T. Hash, T. Shah, H.D. Upadhyaya et. al. // Proc Natl Acad Sci U S A. – 2013. – №110 (2). – P. 453-458.

195. Rahmati, M. Development and analysis of the Soil Water Infiltration Global database / M. Rahman, L. Weihennueller, J. Vanderborghl, et al. // Earth System Science Data. – 2018. – Vol.10. – P. 1237-1263. – DOI 10.5194/essd-IO-1237-2018.

196. Rodriguez-Eugenio, N. Soil Pollution: a hidden reality / N. Rodriguez-Eugenio, M. McLaughlin, D. Pennock. - Italy: Rome, 2018 [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.fao.org/3/I9183EN/i9183en.pdf>, дата доступа 28.10.2024.

197. Saber, A.N. Rainfall-Runoff Simulation of Radioactive Cesium Transport by Using a Small-Scale Portable Rainfall Simulator / A.N. Saber, P. Somjunyakul, J. Ok, et al. // Water Air Soil Pollution. – 2019. – Vol. 226. – P. 230-245. – DOI 10.1007/sl 1270-019-4268-9.

198. Sobol, N.V. Effect of rainfall intensity and slope steepness on the development of soil erosion in the Southern Cis-Ural Region (a model experiment) / N.V. Sobol, I.M. Gabbasova, M.A. Komissarov // Eurasian soil science. – 2017. – Vol. 50. – No 9. – P. 1098-1104. – DOI 10.1134/S106422931709006X.

199. Sukhanovskii, Yu.P. Application of rainfall simulator methods for the study of soil processes / Yu.P. Sukhanovskii, A.V. Prushchik, E.V. Dubovik // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. VIII Congress of the Dokuchaev Soil Science Society. – 2021. – No. 862. – 012111 – DOI 10.1088/1755-1315/862/1/012111.

200. Sukhanovskii, Yu.P. Assessment of soil infiltration capacity by using portable rainfall simulator / Y.P. Sukhanovskii, V.A. Vitovlov, A.V. Prushehik, et al. // Dokuchaev Soil Bulletin. – 2015. – Vol. 78. – P. 26-35.

201. Zhao, W. Degradation debts accounting: A holistic approach towards land degradation neutrality / W. Zhao, T. Hua, M. E. Meadows, P. Pereira // Global Change Biology. – 2021.-Vol. 27. – P. 5411-5413. – DOI 10.1111 l/gcb.15855.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Метеорологические условия за период май - сентябрь 2020 года (данные Агрометеорологической станции Горки)

Числа	Осадки, мм					Среднесуточная температура воздуха, °С					Среднесуточный дефицит влажности воздуха, мб				
Месяц	V	VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX
1		3,8		0,3		6,1	9,0	17,6	14,4	15,6	3,1	2,5	5,6	2,7	3,1
2		23,6				10,8	9,6	19,2	15,8	18,9	3,9	0,7	4,3	5,1	5,7
3	4,6		4,8		0,2	13,5	13,5	19,0	16,6	18,2	2,6	4	1	7	4
4		0,7	3,7		1,1	14,6	11,2	20,3	19,6	16,7	4,9	1,3	4,2	9,9	1,6
5						13,7	13,2	20,1	21,6	16,0	2,1	4	6,5	10,4	5,2
6	26,0	1,5		1,2		12,5	18,4	21,8	20,3	17,0	0,5	4,5	7,4	5,6	4
7	12,0	1,7	1,7		24,6	9,6	18,5	17,5	19,6	15,6	1,5	5,5	2,1	7,3	1,5
8			6,5		2,2	8,1	21,6	15,4	20,0	12,5	4,9	8,3	2,8	6,7	2,5
9				1,8	1,2	10,7	23,3	14,8	19,3	14,3	6,3	10,1	4,1	5,1	3,4
10				0,4	5,0	13,6	24,5	16,3	20,3	13,9	6,7	11	5,7	6,3	2,5
декада	42,6	31,3	16,7	3,7	34,3	11,3	16,3	18,2	18,8	15,9	3,7	5,2	4,4	6,6	3,4
11		0,3	1,8	1,8		14,2	24,1	21,5	16,2	11,2	7,2	8,7	6,5	3,2	3,4
12	1,9		7,7			10,5	22,8	14,7	13,1	11,4	3,2	9,5	2	2,7	3,7
13		5,7	3,0			5,6	15,4	14,5	12,9	13,5	3,6	2,2	2,9	3,4	3,3
14		55,7				6,7	13,0	15,8	13,0	12,2	4	1	5,3	5,1	1,6
15			4,1			7,1	19,6	13,3	15,5	16,1	4,8	4	2,7	5,9	2,1
16				0,9		9,3	22,6	15,5	18,8	16,2	4,6	6,9	5,5	7,3	3,1
17					7,4	9,4	22,5	16,6	20,2	14,1	4,3	10,5	5,8	10	1,8
18	4,3				2,5	8,0	22,6	18,4	18,7	8,4	3	9,3	8,6	6,9	1,2
19		3,7	1,6	31,0		7,1	21,5	15,4	16,1	8,7	2,5	6,1	3	0,9	1,4
20	0,8	9,1		2,5		7,2	20,7	17,9	16,5	8,7	2,6	5,5	6,5	2,8	2,2
декада	7,0	74,5	18,2	36,2	9,9	8,5	20,5	16,4	16,1	12,1	4,0	6,4	4,9	4,8	2,4
21	1,8	8,7		13,4		5,3	18,8	18,8	14,1	9,5	1,8	1,6	6,2	1,8	2,4
22	2,1	2,7	1,6			5,2	16,2	14,8	16,2	13,0	0,8	1,1	4,2	5,3	4
23	0,1	0,1		0,3		8,0	19,8	14,3	17,4	14,7	2,9	5,7	5,3	4,9	5,4
24				3,6		10,4	20,3	14,4	19,3	13,7	5	9,3	6,2	4,5	5,9
25			7,3	8,7		12,8	21,4	17,5	16,6	14,2	5,4	9,7	7,6	3	5,1
26	0,8		3,5	11,4		13,1	22,8	18,8	15,6	17,1	6,4	10,4	4,1	3,1	7,4
27			2,4	9,6	4,5	13,5	22,7	20,0	14,9	15,4	5	10	3,1	1,4	6,2
28		17,6			11,9	15,3	19,0	20,9	14,5	11,8	7,1	2,8	5,2	1,4	0,9
29	3,2		0,3			12,5	20,6	20,4	14,0	11,5	1,8	6	3,8	3,4	2,3
30	5,7	4,5	1,0			14,2	19,3	16,9	20,8	13,1	1,7	4,2	5,4	6,6	5,2
31	12,9			1,3		13,1		14,7	22,3		2,9		3,4	8,1	
декада	26,6	33,6	16,1	48,3	16,4	11,2	20,1	17,4	16,9	13,4	3,7	6,1	5	4	4,5
месяц	76,2	139,4	51,0	88,2	60,6	10,4	19,0	17,3	17,2	13,8	3,8	5,9	4,7	5,1	3,4

Продолжение приложения 1

Метеорологические условия за период май - сентябрь 2021 года (данные Агрометеорологической станции Горки)

Числа	Осадки, мм					Среднесуточная температура воздуха, °С					Среднесуточный дефицит влажности воздуха, мб				
Месяц	V	VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX
1				4,3	8	8,9	11,6	21	21,4	15,3	4,5	6,2	11,2	8,9	0,9
2				4,2	2,6	10,4	13,2	20,6	21,1	10,8	4,1	7,9	7,5	5,4	1,9
3	7,5		1,7		7,7	7,9	15,4	18,4	17,8	9,7	1,9	8,8	3,8	6,2	1,7
4	2,8					5,7	15,1	20	17,5	7,9	3,3	7,5	7,1	7,4	2,4
5	0,3			2	1	9,4	16,6	20,2	18,1	7,4	4,4	8,5	7,3	4,7	1,9
6	4,1			7,7		9,5	18	21,4	19,8	7,9	3,5	8,5	8,7	3,5	3,1
7	1,2	0,9				7,7	16,7	22,1	20,3	9	4	4,7	12	6	3,7
8	1,4	1,1				7,3	17,3	22,7	19,2	12,3	2,3	6,1	13,7	8,4	4,6
9		0,3				7,5	15,6	24,4	21	14,9	5,3	2,9	15,5	8,7	5,4
10		0,3		8,8		10,2	17,1	23,7	20,6	16	7,4	3,4	14,9	5	5,6
декада	17,3	2,6	1,7	27,0	19,3	8,5	15,7	21,5	19,7	11,1	4,1	6,5	10,2	6,4	3,1
11						14,1	14,8	24,3	20	16,1	10,36	2,6	15,4	7,6	5,3
12				10,6,		15	16,4	26	16,8	16,8	7,8	6	14,9	2,6	6,2
13	5,7	0,3			4,3	10,6	17,2	26,5	17,2	14,6	1,9	4,4	16,2	5	2,4
14	1,2					14	17,7	26,1	17,5	11,4	4,4	4	15,8	6,8	3,1
15	3,3		29,2			14,2	18,7	24,4	20,3	9,8	2,3	7	9,5	9	3,6
16				2,9		15,6	19,1	25,6	20,1	7	4,8	8,4	12,2	7,7	2,3
17	0,2			15,3	3,1	18,1	19	25,6	22,4	6,5	6,7	10,5	11	7,5	1,4
18	2,6			9	18,2	16,4	20,2	24,2	17,7	6,4	2,7	10,2	10,4	5,2	1,4
19	10		2,6		23,1	15,4	21,9	21,8	15,7	6,8	1,9	11,5	5,9	5,6	0,4
20	6				4,8	13	23,6	21,5	17,6	6,2	1,5	11,2	10,6	5,6	0,4
декада	29,0	0,3	31,8	37,8	53,5	14,6	18,9	24,6	18,5	10,2	4,5	7,6	12,2	6,3	2,7
21	0,5				7,1	11,3	23,7	18,6	15,7	6,7	4,2	11,1	8,8	4,9	0,4
22					3,3	13,9	25,9	17,4	13,9	6	6,5	15,8	9,4	4,4	0,5
23	1,9				0,5	13	26,6	17,9	13,8	5,6	3,7	17,9	8,3	4,7	0,7
24					12,5	12,4	27,6	19,2	14,3	4,9	4,2	16,9	8,8	4,3	0,5
25		0,2			5,7	13,9	25	21	13,3	9,9	6,1	11,9	12,6	2,6	0,5
26	5,7					15,4	23,2	22,3	15,1	10	5,3	9,6	12,3	2,2	1,8
27			2,5	4,7		15,4	22,7	21,9	16,3	9,5	6,8	6,2	8,8	0,8	1,7
28		10,1	10,3	18,6		16,1	19,1	21,3	16,6	8,9	6,6	3,1	4,8	1,5	1,6
29	0,9	8,7		0,3		14,3	19,3	23,1	14,9	6,8	4,3	5,8	10	2,9	2
30		0,3	28,2	8,5		11,9	18,8	21,2	17,2	4,2	5,3	5,5	6,2	1,8	1,8
31				20,5		9,8		21	18,2		4,9		11,2	2	
декада	9	19,3	41	52,6	29,1	13,4	23,2	20,4	15,4	7,6	5,3	10,4	9,2	2,9	1,2
месяц	55,3	22,2	74,5	117,4	101,9	12,2	19,2	22,1	17,8	9,6	4,6	8,1	10,5	4,2	2,3

Продолжение приложения 1

Метеорологические условия за период май - сентябрь 2022 года (данные Агрометеорологической станции Горки)

Числа	Осадки, мм					Среднесуточная температура воздуха, °С					Среднесуточный дефицит влажности воздуха, мб				
Месяц	V	VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX
1					2,1	8,9	16,1	21,7	21	9,3	5,5	6,4	9,5	10,2	3
2	2,8	15				9,7	18,2	21,6	19,8	8,4	3,6	6,4	8,8	6,8	3,1
3						10,6	14,9	22,9	20,3	9,9	5	5,4	9,4	5,4	4,6
4						5,6	15,1	22,9	22	11,6	4,1	5,9	7,6	8,4	5,3
5		0,2	0,6			6,1	15,3	22	23,2	8,2	5,2	6	6,6	10,4	2,9
6			12			10,3	16,3	18,9	23,1	8,8	7,1	7,6	4,5	8,7	3
7				9,3		12,2	17,4	17,7	16,9	10,7	6,1	7,5	4,2	2,1	4,4
8	6					10,9	20	17,4	15,5	8,5	2,1	9,8	5,2	5,3	2,7
9						8	21,6	18,7	16,4	7,6	5,2	10,4	7,3	5,6	4,2
10			1			7,3	22,3	18,1	17,8	9,1	5,1	8,6	3,9	5,3	5,3
декада	8,8	15,2	13,6	9,3	2,1	9	17,7	20,2	19,6	9,2	4,9	7,4	6,7	6,8	3,9
11		3,7	12,1		12,7	11,3	20,8	16,3	18,8	9,3	7,5	5,1	0,7	7,8	0,9
12	8,3		20,5		0,5	14,4	19,3	15	20	9,9	4,6	5,1	0,9	9,6	0,9
13			10,6			11,4	18,3	13,4	21,2	10,8	4,6	7,9	1	10	1,7
14	1,1	4,1	0,1	0,8	0,2	10,4	14,5	16,5	23,2	10,2	3,7	4,1	3,5	9,5	1,3
15	2,5			0,2		9,8	14,5	15,1	23,2	13,1	2,4	5,4	3,7	10,2	2
16						9,6	15,6	14,1	22,9	13,1	5	6,7	4,2	9,4	3,5
17	1,7	0,5	0,8			8,1	15,1	14,8	22,4	10,6	3,9	3,7	4,6	10,5	3,8
18	2,6		1,3		7,3	9,1	16,4	14,9	23,3	8,2	3,1	7,1	3,3	11,1	0,9
19					41,9	11,5	20,4	16,6	20,5	9,3	6,5	9	4,3	7,7	0,7
20	2,3					12,7	18,6	16,8	18,7	10,4	3,9	5,9	5,1	5	1,2
декада	18,5	8,3	45,4	1	62,6	10,8	17,4	15,4	21,4	10,5	4,5	6	3,1	9,1	1,7
21	3,5	26,2			4,8	10,5	14,6	18,6	17,1	9,5	0,3	0,8	6,4	4,2	0,9
22	5,4	35,2			6,8	10,6	13,4	18,9	19,7	9,6	3,6	0,7	7,2	9,3	0,63
23		0,2			2,2	9,3	18,1	20,4	22,7	9,8	5,9	6,9	9	13,8	0,8
24			1,4		1,2	13,1	19,7	19,3	23,7	9,2	7,2	8,8	3,2	15,2	1,6
25			3,8		0,4	14,7	21,4	17,5	22,9	8,4	8,8	9,5	3,5	14,5	2,5
26	8,2					12,1	22,5	18,9	23,7	9,3	3,1	8,8	5,6	14,8	2,4
27	0,3					11,8	24,4	19,9	22,6	10,3	4	11	6,4	12,8	2,2
28	6,1		2,8			10	24,8	18,2	21,5	7,7	2,8	9	5,6	10,7	1
29	1	2,1			3,2	10,1	21	16,6	20,6	10,9	3,6	3,4	5,5	7,2	2
30	5,3			0,6	1,4	11	21,1	16,7	18,7	11,1	2,2	8,1	7,5	4,8	1,5
31	2			0,3		14,4		17,4	15,1		4,1		6,3	4,9	
декада	31,8	63,7	8	0,9	20	11,6	20,1	18,4	20,8	9,6	4,1	6,7	6	10,2	1,6
месяц	59,1	87,2	67	11,2	84,7	10,5	18,4	18	20,6	9,8	4,5	6,7	5,3	8,7	2,4

Минимальная температура воздуха по агрометеостанции Горки

2020 год					
Декады	Месяцы				
	V	VI	VII	VIII	IX
1	6,1	9	14,8	14,4	12,5
2	5,6	13	13,3	12,9	8,4
3	5,2	16,2	14,3	14	9,5
За месяц	5,2	9	13,3	12,9	8,4
2021 год					
Декады	Месяцы				
	V	VI	VII	VIII	IX
1	5,7	11,6	18,4	17,5	7,4
2	10,6	14,8	21,5	15,7	6,2
3	9,8	18,8	17,4	13,3	4,2
За месяц	5,7	11,6	17,4	13,3	4,2
2022 год					
Декады	Месяцы				
	V	VI	VII	VIII	IX
1	5,6	14,9	17,4	15,5	7,6
2	8,1	14,5	13,4	18,7	8,2
3	9,3	13,4	16,6	15,1	7,7
За месяц	5,6	13,4	13,4	15,1	7,6

Максимальная температура воздуха по агрометеостанции Горки

2020 год					
Декады	Месяцы				
	V	VI	VII	VIII	IX
1	15,6	24,5	21,8	21,6	18,9
2	14,2	24,1	21,5	20,2	16,2
3	15,3	22,8	20,9	22,3	17,1
За месяц	15,6	24,5	21,8	22,3	18,9
2021 год					
Декады	Месяцы				
	V	VI	VII	VIII	IX
1	10,4	18	24,4	21,4	16
2	18,1	23,6	26,5	22,4	16,8
3	16,1	27,6	23,1	18,2	10
За месяц	18,1	27,6	26,5	22,4	16,8
2022 год					
Декады	Месяцы				
	V	VI	VII	VIII	IX
1	12,2	22,3	22,9	23,2	11,6
2	14,4	20,8	16,8	23,3	13,1
3	14,7	24,8	20,4	23,7	11,1
За месяц	14,7	24,8	22,9	23,7	13,1

Мера сходства по осадкам со среднемноголетним годом
(методика Голченко М.Г.)

2020 год					
Декады	Месяцы				
	V	VI	VII	VIII	IX
1	0,55	0,85	0,80	0,26	0,76
2	0,58	0,50	0,82	0,80	0,64
3	0,88	0,89	0,76	0,66	0,90
За месяц	0,83	0,70	0,80	0,91	0,99
2021 год					
Декады	Месяцы				
	V	VI	VII	VIII	IX
1	0,96	0,20	0,13	0,96	0,96
2	0,74	0,02	0,90	0,78	0,56
3	0,60	0,83	0,78	0,63	0,81
За месяц	0,99	0,46	0,98	0,77	0,76
2022 год					
Декады	Месяцы				
	V	VI	VII	VIII	IX
1	0,71	0,80	0,70	0,54	0,18
2	0,96	0,50	0,73	0,08	0,50
3	0,80	0,60	0,47	0,07	1,00
За месяц	0,95	0,92	0,93	0,27	0,85

Коэффициент увлажнения Д.И. Шашко

2020 год					
Декады	Месяцы				
	V	VI	VII	VIII	IX
1	1,17	0,60	0,38	0,06	1,02
2	0,18	1,17	0,37	0,75	0,42
3	0,65	0,55	0,30	1,11	0,37
За месяц	0,65	0,79	0,35	0,56	0,59
2021 год					
Декады	Месяцы				
	V	VI	VII	VIII	IX
1	0,43	0,04	0,02	0,42	0,62
2	0,65	0,00	0,26	0,43	2,02
3	0,16	0,19	0,41	1,64	2,53
За месяц	0,39	0,09	0,23	0,74	1,47
2022 год					
Декады	Месяцы				
	V	VI	VII	VIII	IX
1	0,18	0,21	0,20	0,14	0,05
2	0,41	0,14	1,45	0,01	3,70
3	0,70	0,95	0,12	0,01	1,29
За месяц	0,42	0,43	0,41	0,04	1,19

Гидротермический коэффициент (ГТК) Г.Т. Селянинова

2020 год					
Декады	Месяцы				
	V	VI	VII	VIII	IX
1	3,31	0,27	0,92	0,20	2,16
2	0,77	3,64	1,11	2,25	0,78
3	2,15	1,67	0,84	2,60	1,32
За месяц	2,48	2,04	0,95	1,65	1,54
2021 год					
Декады	Месяцы				
	V	VI	VII	VIII	IX
1	0,00	0,17	0,08	1,37	1,53
2	1,98	0,02	1,29	1,47	0,73
3	0,65	0,83	1,82	3,11	
За месяц	1,25	0,38	1,09	1,94	1,16
2022 год					
Декады	Месяцы				
	V	VI	VII	VIII	IX
1	1,36	0,86	0,67	0,47	-
2	1,63	0,48	2,96	0,05	0,03
3	2,69	3,17	0,40	0,04	1,42
За месяц	2,12	1,58	1,20	0,18	0,39

Метеорологические условия за период с 1973 по 2022 гг. с мая по сентябрь
 месяцы (данные Агрометеорологической станции Горки)

№ п/п	Год	Осадки, мм	Температура воздуха, °С
1	1973	342	2099
2	1974	391	2032
3	1975	315	2465
4	1976	205	1959
5	1977	380	2100
6	1978	398	1951
7	1979	253	2299
8	1980	439	2046
9	1981	219	2355
10	1982	250	2167
11	1983	210	2344
12	1984	464	2139
13	1985	547	2182
14	1986	331	2245

15	1987	398	2038
16	1988	391	2365
17	1989	316	2352
18	1990	389	2005
19	1991	459	2224
20	1992	225	2288
21	1993	357	2030
22	1994	225	2246
23	1995	386	2313
24	1996	259	2269
25	1997	339	2192
26	1998	489	2236
27	1999	314	2391
28	2000	344	2115
29	2001	282	2392
30	2002	162	2478
31	2003	404	2304
32	2004	203	2247
33	2005	416	2354
34	2006	332	2071
35	2007	386	2409
36	2008	289	2089
37	2009	291	2120
38	2010	324	2240
39	2011	399	2493
40	2012	411	2053
41	2013	287	2436
42	2014	357	2310
43	2015	244	2399
44	2016	370	2469
45	2017	407	2278
46	2018	375	2564
47	2019	362	2134
48	2020	415	2378
49	2021	371	2478
50	2022	309	2366

Расчёт лет различной обеспеченности по осадкам по агрометеорологической
станции Горки за период с мая по сентябрь

m	H_i , мм	k_i	P_i , %	$k_i - 1$	$(k_i - 1)^2$	$(k_i - 1)^3$
1	547	1,60	1,4	0,605	0,3658	0,2213
2	489	1,44	3,4	0,435	0,1896	0,0826
3	464	1,36	5,4	0,363	0,1317	0,0478
4	459	1,35	7,3	0,349	0,1215	0,0424
5	439	1,29	9,3	0,289	0,0833	0,0241
6	416	1,22	11,3	0,220	0,0485	0,0107
7	415	1,22	13,3	0,219	0,0481	0,0106
8	411	1,21	15,3	0,205	0,0420	0,0086
9	407	1,20	17,3	0,196	0,0384	0,0075
10	404	1,19	19,2	0,186	0,0346	0,0064
11	399	1,17	21,2	0,172	0,0295	0,0051
12	398	1,17	23,2	0,168	0,0283	0,0048
13	398	1,17	25,2	0,168	0,0283	0,0048
14	391	1,15	27,2	0,149	0,0222	0,0033
15	391	1,15	29,2	0,147	0,0216	0,0032
16	389	1,14	31,2	0,141	0,0200	0,0028
17	386	1,13	33,1	0,134	0,0179	0,0024
18	386	1,13	35,1	0,133	0,0178	0,0024
19	380	1,12	37,1	0,115	0,0133	0,0015
20	375	1,10	39,1	0,099	0,0099	0,0010
21	371	1,09	41,1	0,090	0,0081	0,0007
22	370	1,09	43,1	0,085	0,0073	0,0006
23	362	1,06	45,0	0,062	0,0039	0,0002
24	357	1,05	47,0	0,049	0,0024	0,0001
25	357	1,05	49,0	0,048	0,0023	0,0001
26	344	1,01	51,0	0,010	0,0001	0,0000
27	342	1,00	53,0	0,003	0,0000	0,0000
28	339	0,995	55,0	-0,005	0,0000	0,0000
29	332	0,975	56,9	-0,025	0,0006	0,0000
30	331	0,972	58,9	-0,028	0,0008	0,0000
31	324	0,952	60,9	-0,048	0,0023	-0,0001
32	316	0,928	62,9	-0,072	0,0052	-0,0004
33	315	0,925	64,9	-0,075	0,0057	-0,0004
34	314	0,922	66,9	-0,078	0,0061	-0,0005
35	309	0,908	68,8	-0,092	0,0085	-0,0008
36	291	0,855	70,8	-0,145	0,0209	-0,0030
37	289	0,849	72,8	-0,151	0,0229	-0,0035
38	287	0,842	74,8	-0,158	0,0249	-0,0039
39	282	0,828	76,8	-0,172	0,0296	-0,0051
40	259	0,760	78,8	-0,240	0,0576	-0,0138
41	253	0,743	80,8	-0,257	0,0662	-0,0170
42	250	0,734	82,7	-0,266	0,0705	-0,0187

Продолжение приложения 8

43	244	0,715	84,7	-0,285	0,0813	-0,0232
44	225	0,662	86,7	-0,338	0,1145	-0,0387
45	225	0,661	88,7	-0,339	0,1149	-0,0389
46	219	0,644	90,7	-0,356	0,1267	-0,0451
47	210	0,617	92,7	-0,383	0,1464	-0,0560
48	205	0,600	94,6	-0,400	0,1598	-0,0639
49	203	0,597	96,6	-0,403	0,1626	-0,0656
50	162	0,476	98,6	-0,524	0,2750	-0,1442
Сумма		50		-1,110E-15	2,8397	-0,0481

Приложение 9

Расчёт обеспеченности вегетационных периодов (май–сентябрь) по разности между осадками и испарением (данные агрометеорологической станции Горки, 1973–2022 гг.)

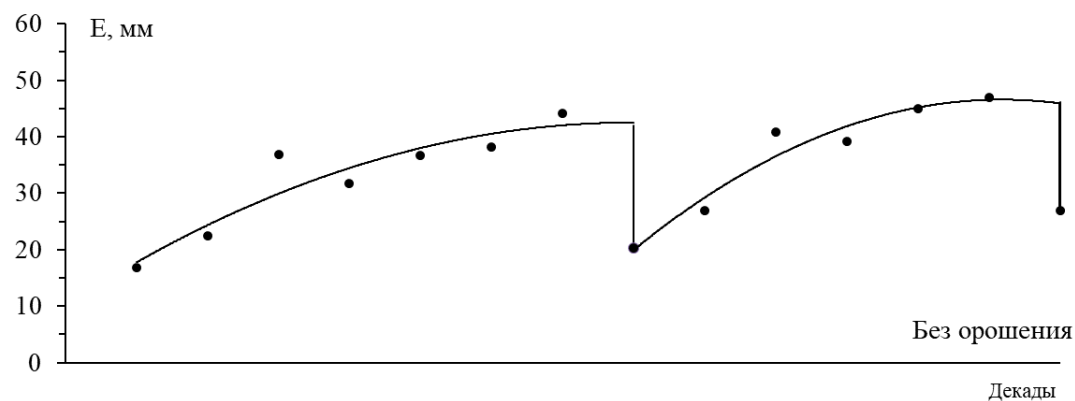
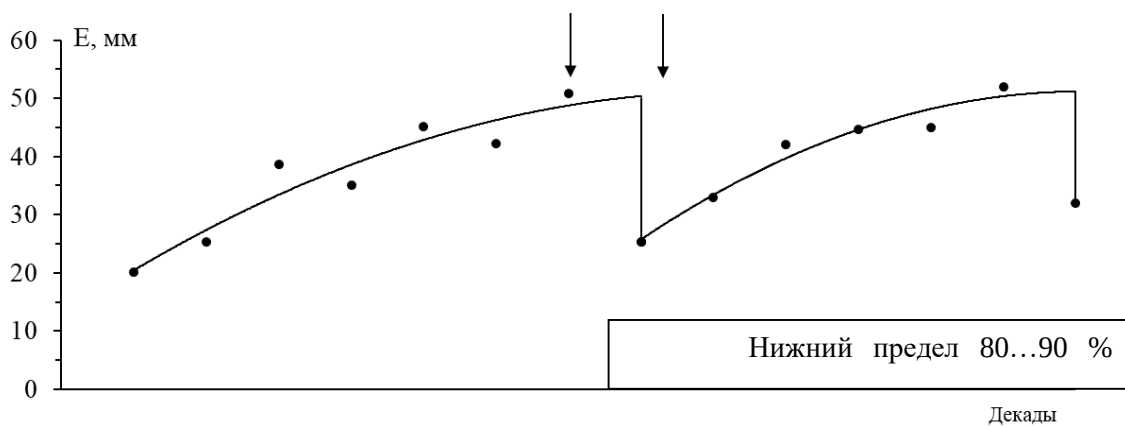
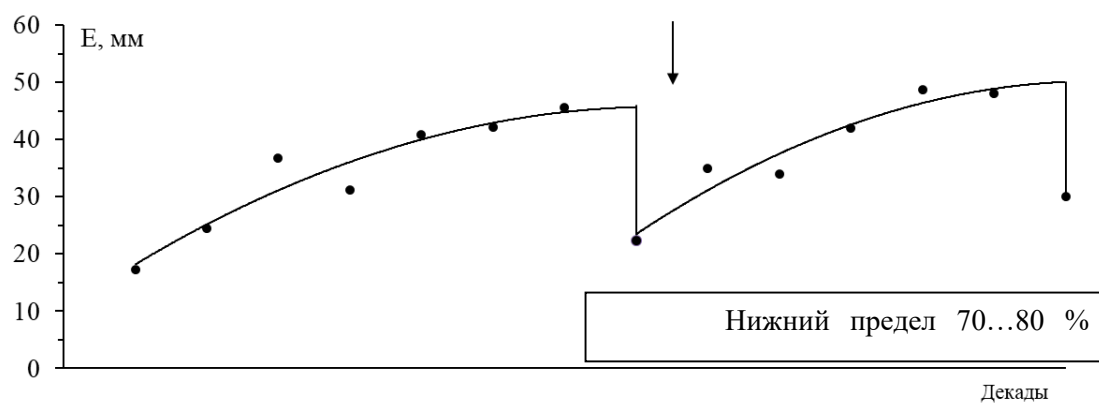
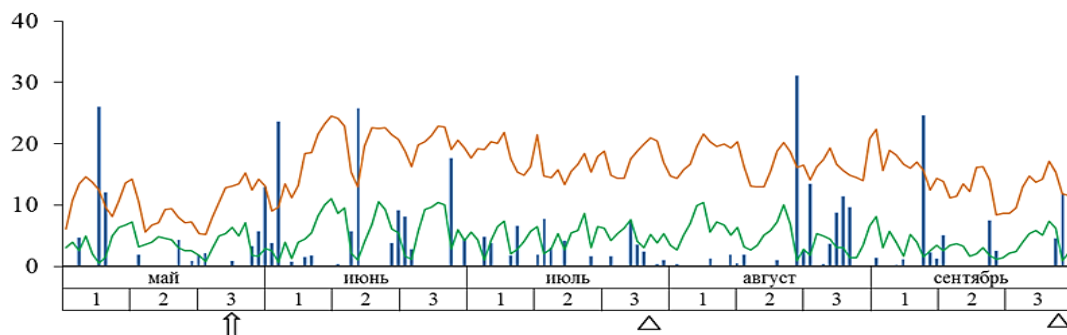
Год	Сумма среднесуточных температур воздуха за май–сентябрь, °С	Сумма испарения за май–сентябрь, мм	Сумма осадков за май–сентябрь, мм	Разность между осадками и испарением, мм	Год	Разность в убывающем порядке, мм	Обеспеченность, %
1973	2099	357	342	-15	1985	176	1,4
1974	2032	345	391	46	1998	109	3,4
1975	2465	419	315	-104	1984	101	5,4
1976	1959	333	205	-129	1980	91	7,3
1977	2100	357	380	23	1991	81	9,3
1978	1951	332	398	66	1978	66	11,3
1979	2299	391	253	-138	2012	61	13,3
1980	2046	348	439	91	1987	52	15,3
1981	2355	400	219	-181	1990	48	17,3
1982	2167	368	250	-118	1974	46	19,2
1983	2344	399	210	-188	1977	23	21,2
1984	2139	364	464	101	2017	20	23,2
1985	2182	371	547	176	2005	16	25,2
1986	2245	382	331	-51	2003	12	27,2
1987	2038	346	398	52	1993	12	29,2
1988	2365	402	391	-11	2020	11	31,2
1989	2352	400	316	-84	2019	-1	33,1
1990	2005	341	389	48	1995	-7	35,1
1991	2224	378	459	81	1988	-11	37,1
1992	2288	389	225	-164	1973	-15	39,1
1993	2030	345	357	12	2000	-16	41,1

Продолжение приложения 9

1994	2246	382	225	-157	2006	-20	43,1
1995	2313	393	386	-7	2007	-23	45,0
1996	2269	386	259	-127	2011	-25	47,0
1997	2192	373	339	-34	1997	-34	49,0
1998	2236	380	489	109	2014	-35	51,0
1999	2391	406	314	-92	2021	-50	53,0
2000	2115	360	344	-16	2016	-50	55,0
2001	2392	407	282	-125	1986	-51	56,9
2002	2478	421	162	-259	2010	-57	58,9
2003	2304	392	404	12	2018	-61	60,9
2004	2247	382	203	-179	2008	-66	62,9
2005	2354	400	416	16	2009	-69	64,9
2006	2071	352	332	-20	1989	-84	66,9
2007	2409	409	386	-23	1999	-92	68,8
2008	2089	355	289	-66	2022	-93	70,8
2009	2120	360	291	-69	1975	-104	72,8
2010	2240	381	324	-57	1982	-118	74,8
2011	2493	424	399	-25	2001	-125	76,8
2012	2053	349	411	61	1996	-127	78,8
2013	2436	414	287	-127	2013	-127	80,8
2014	2310	393	357	-35	1976	-129	82,7
2015	2399	408	244	-164	1979	-138	84,7
2016	2469	420	370	-50	1994	-157	86,7
2017	2278	387	407	20	1992	-164	88,7
2018	2564	436	375	-61	2015	-164	90,7
2019	2134	363	362	-1	2004	-179	92,7
2020	2378	404	415	11	1981	-181	94,6
2021	2478	421	371	-50	1983	-188	96,6
2022	2366	402	309	-93	2002	-259	98,6

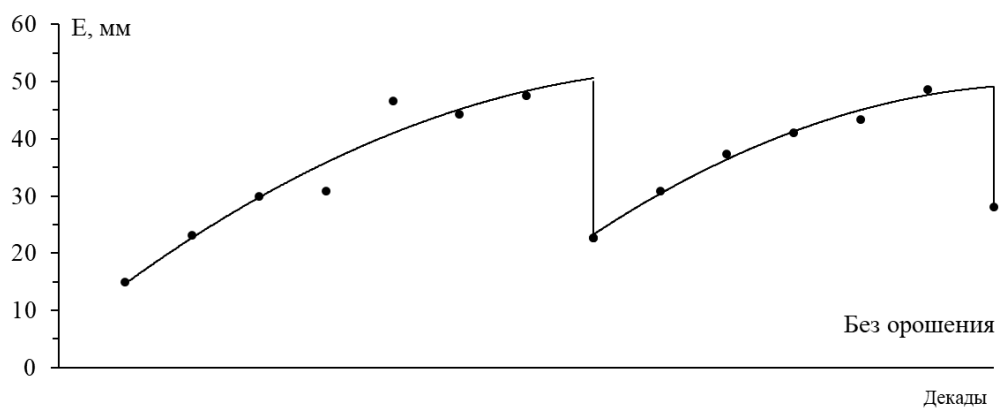
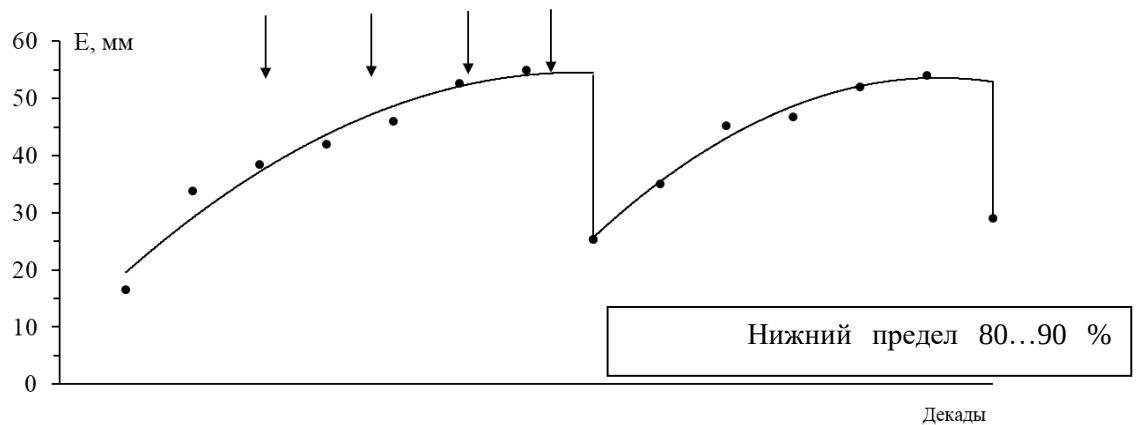
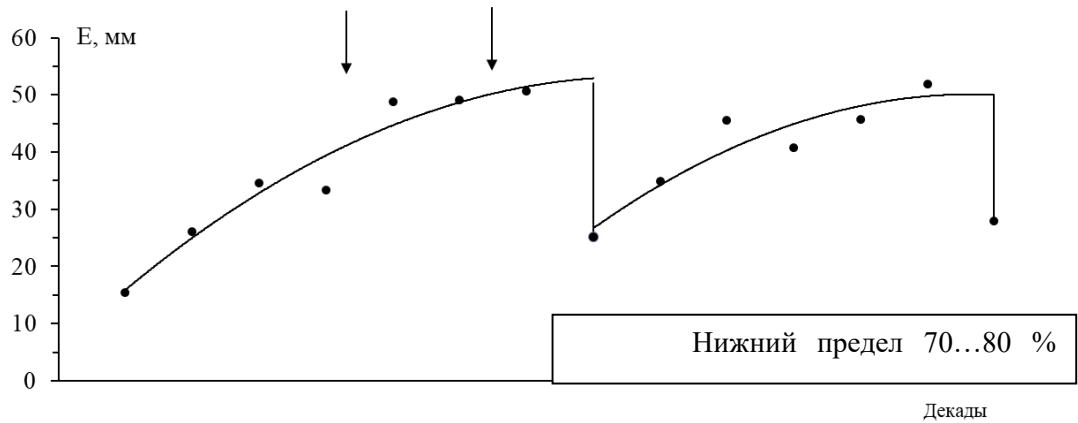
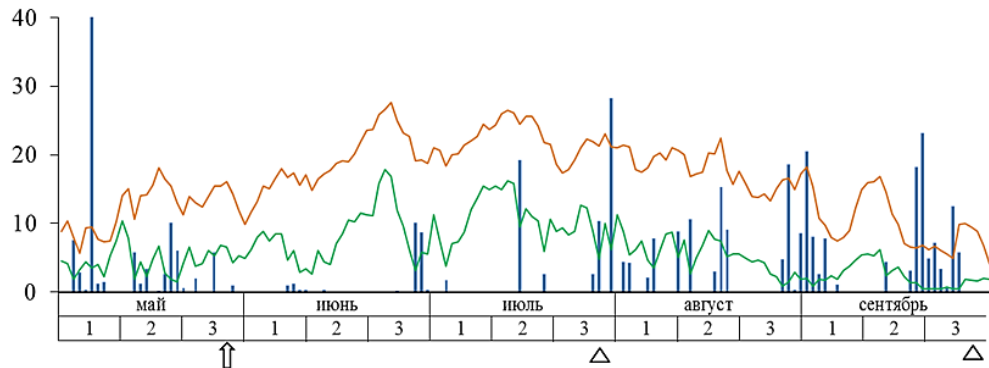
Климатические факторы за 2020 год и динамика изменения водопотребления суданской травы «Пружанская» в вариантах опыта: ↑ посев, Δ укусы, ↓ поливы

тср.сут., °C; дср.сут., мб; Рсут, мм



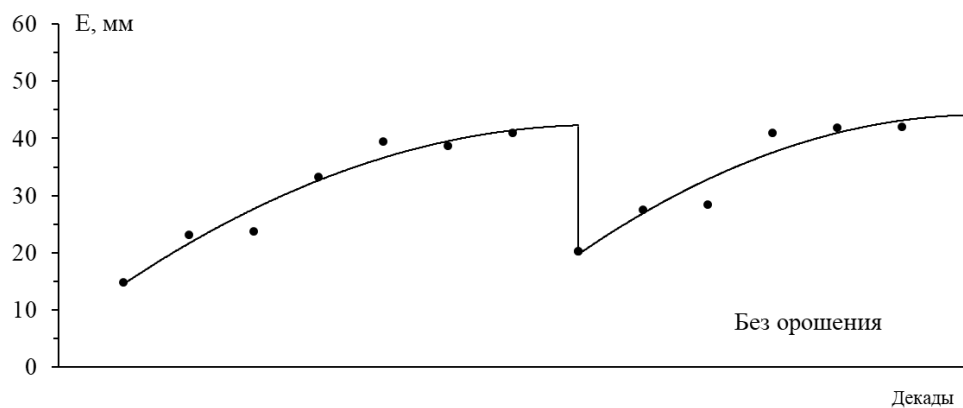
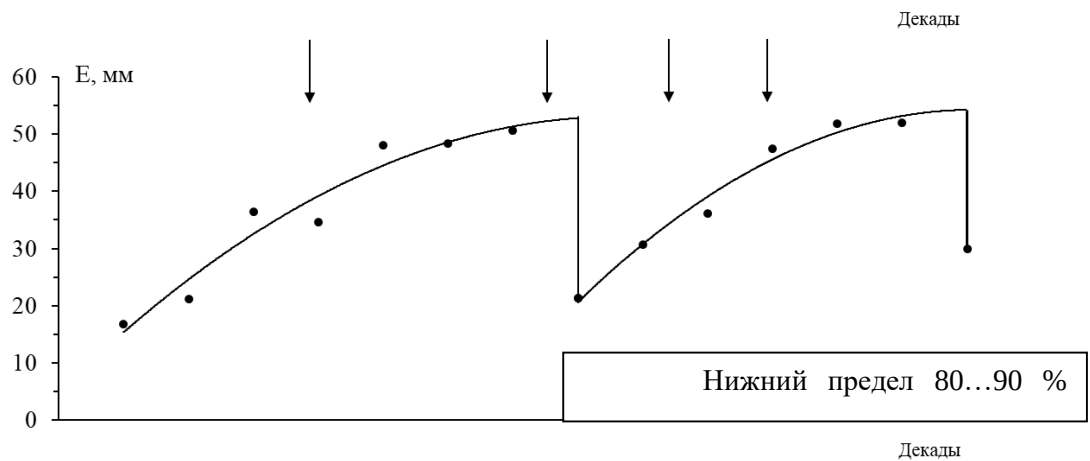
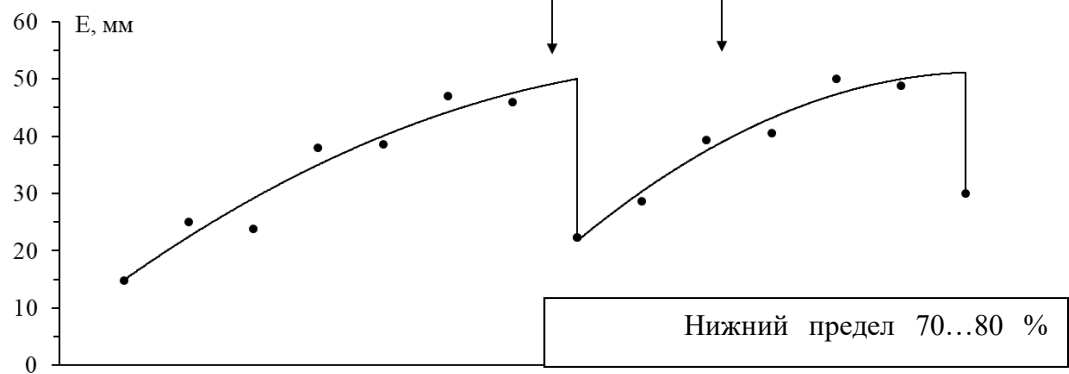
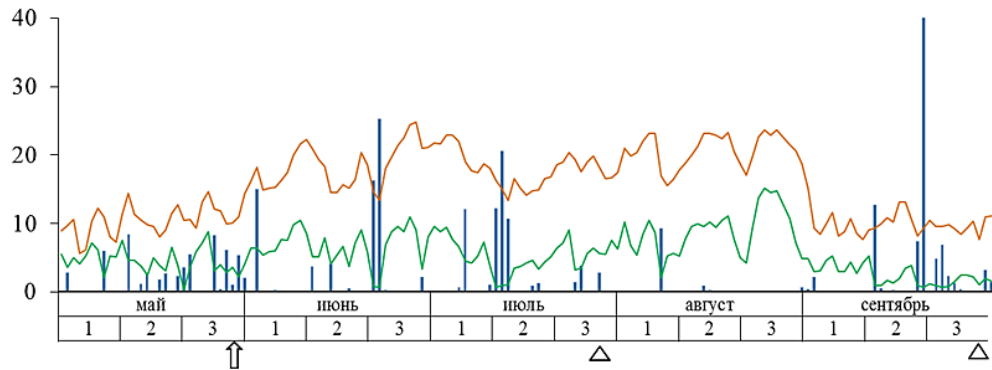
Климатические факторы за 2021 год и динамика изменения водопотребления суданской травы «Пружанская» в вариантах опыта: ↑ посев, △ укусы, ↓ поливы

тср.сут., °C; дср.сут., мм; Рсут, мм



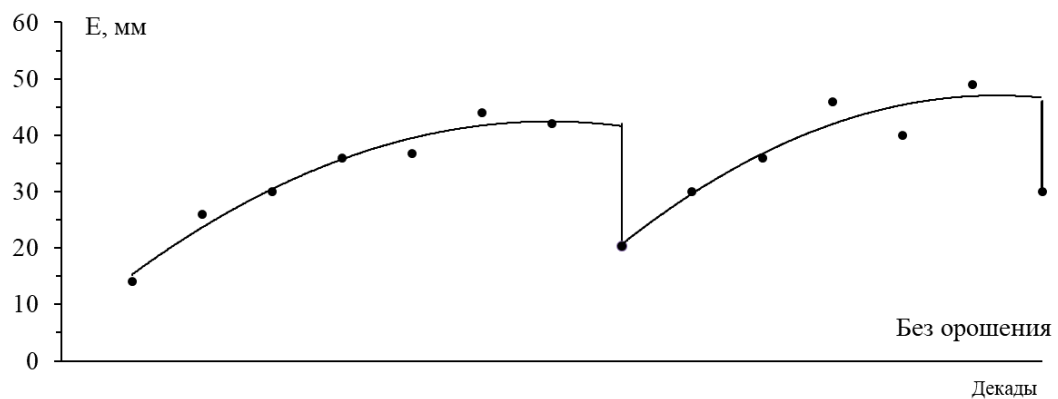
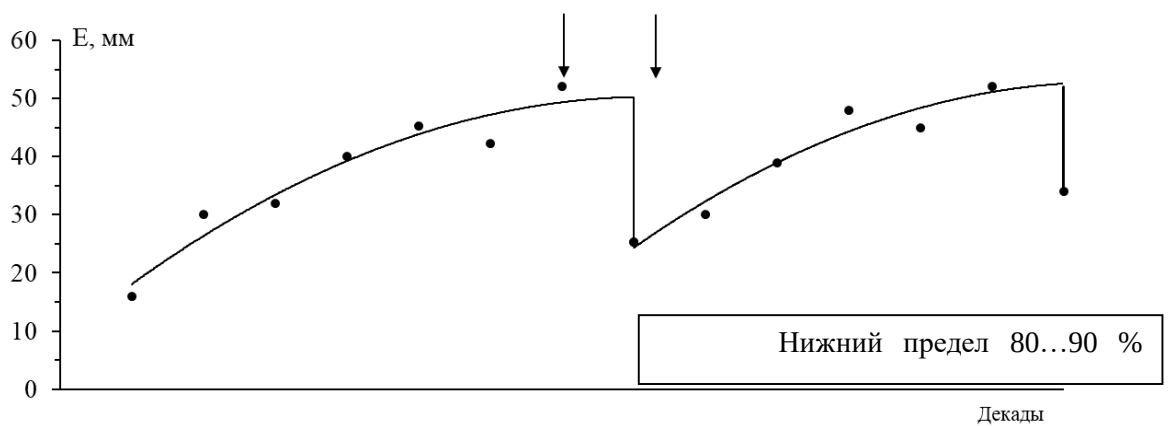
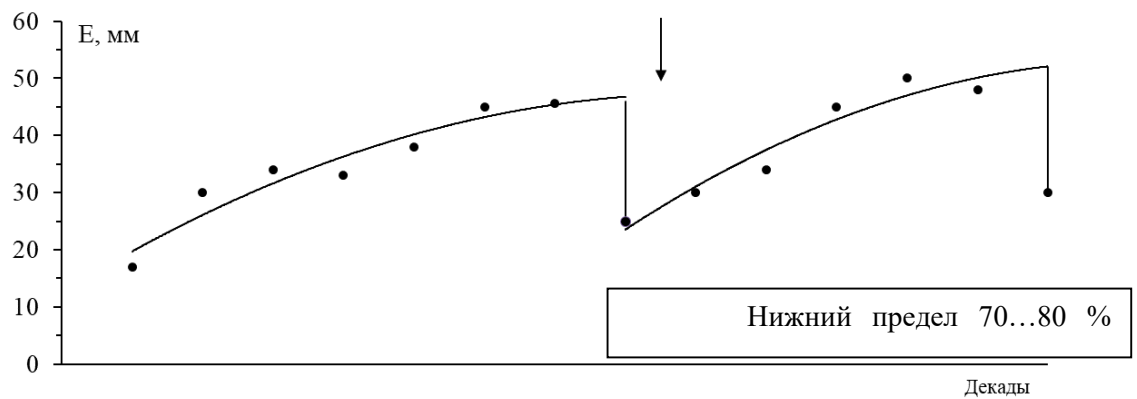
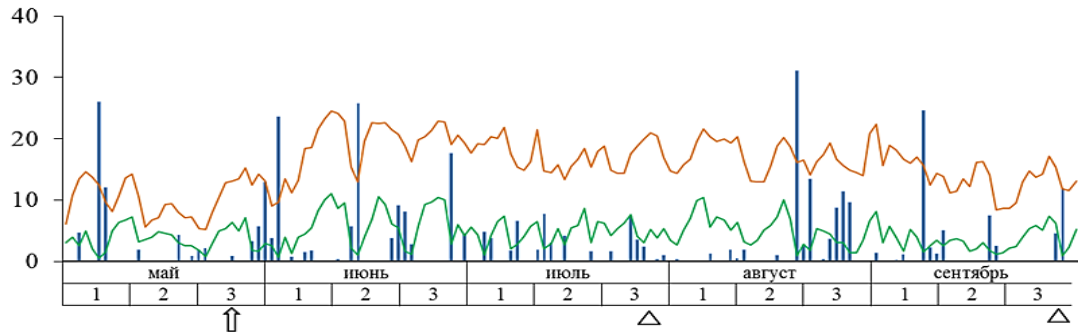
Климатические факторы за 2022 год и динамика изменения водопотребления суданской травы «Пружанская» в вариантах опыта: $\Uparrow$ посев, Δ укосы, $\Downarrow$ поливы

тср.сут., °C; дср.сут., мм; P, мм



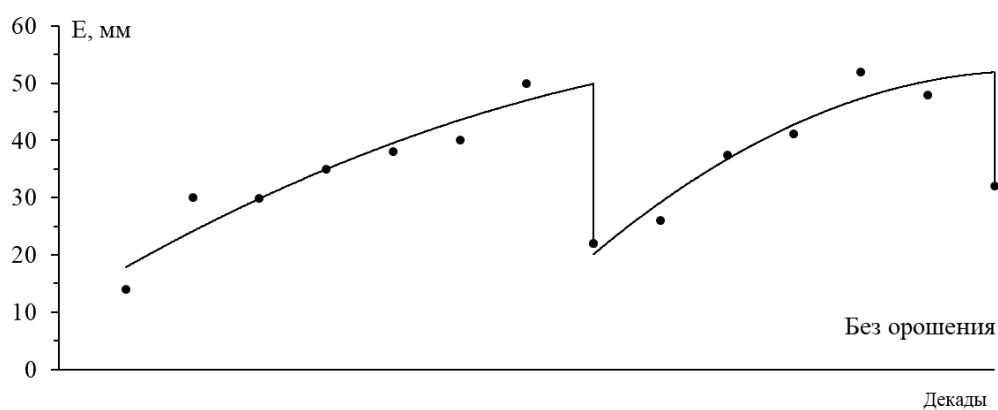
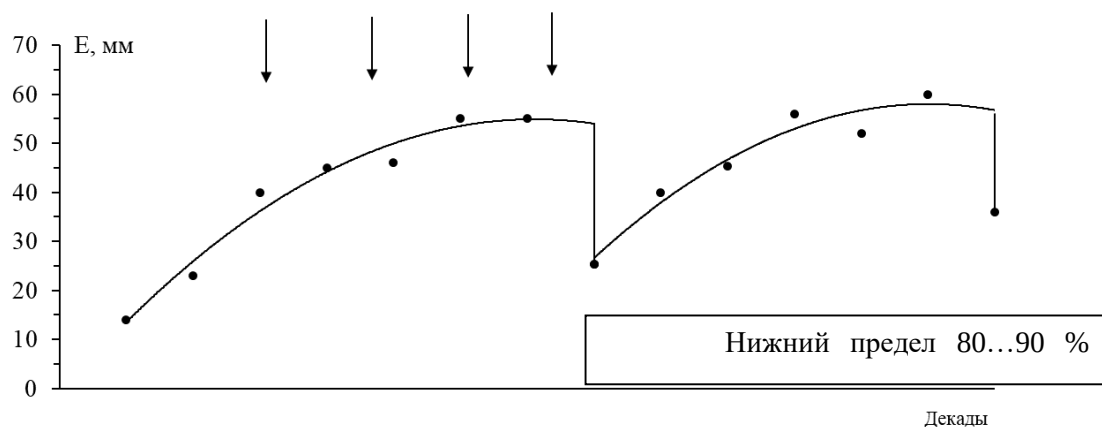
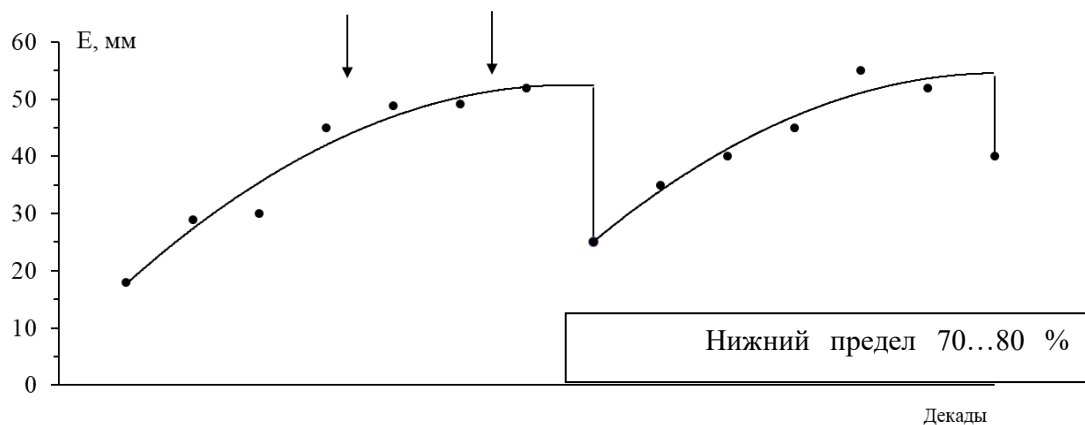
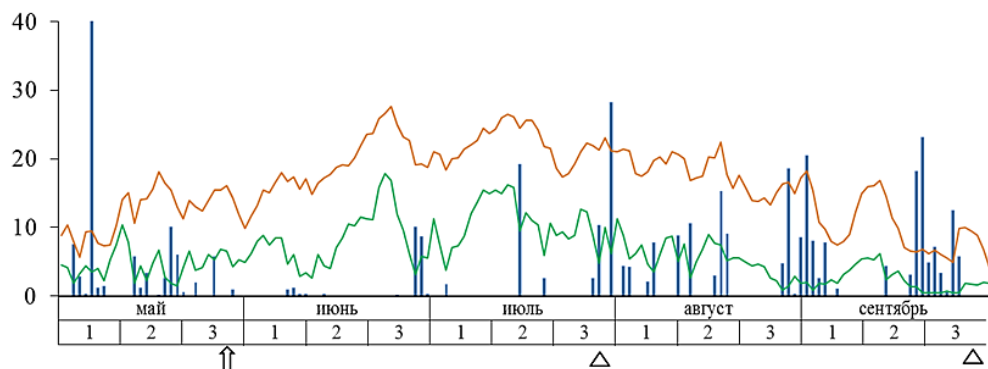
Климатические факторы за 2020 год и динамика изменения водопотребления суданской травы «Сенокосная 88» в вариантах опыта: ↑ посев, △ укусы, ↓ поливы

$t_{ср.сут.}$, °C; $d_{ср.сут.}$, мб; $P_{сут.}$, мм



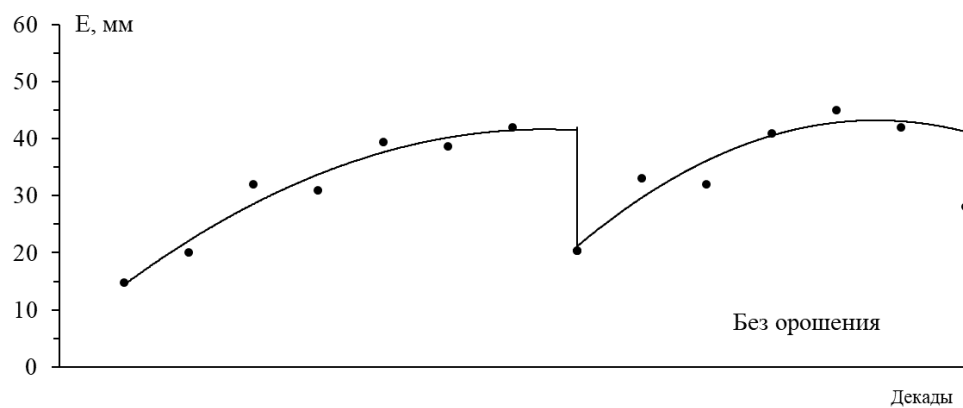
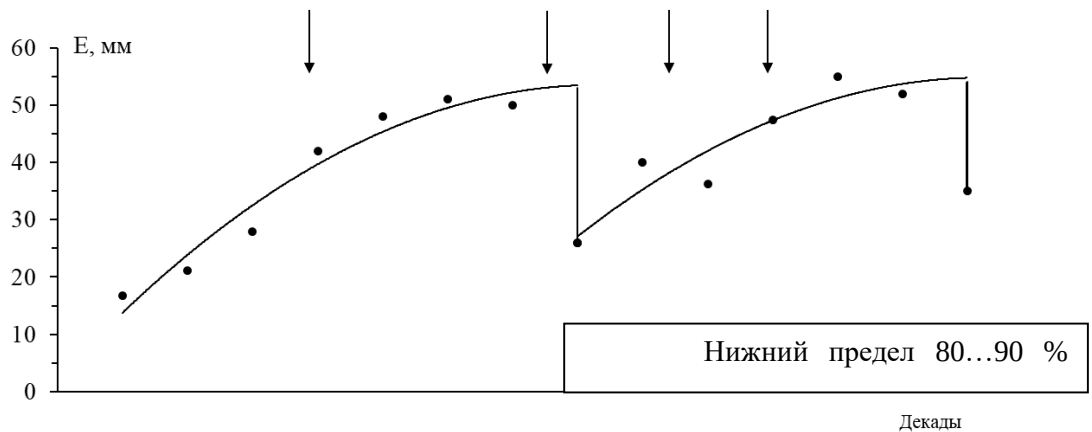
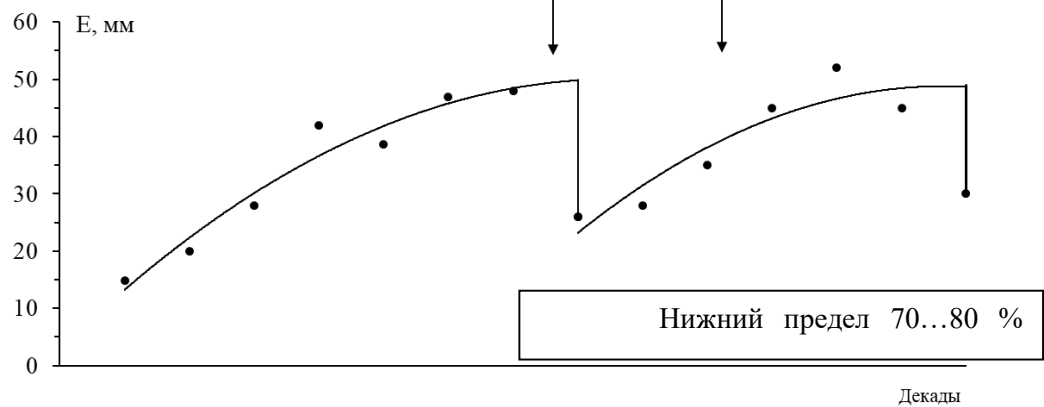
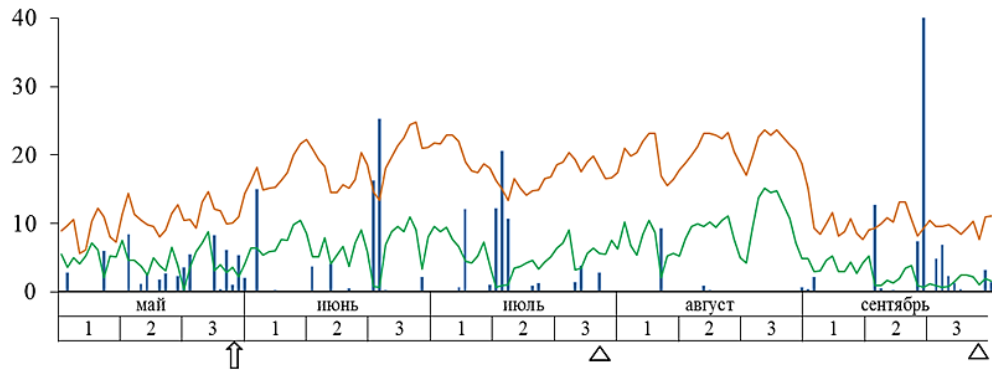
Климатические факторы за 2021 год и динамика изменения водопотребления суданской травы «Сенокосная 88» в вариантах опыта: ↑ посев, △ укусы, ↓ поливы

тср.сут., °C; дср.сут., мм; Рсут, мм

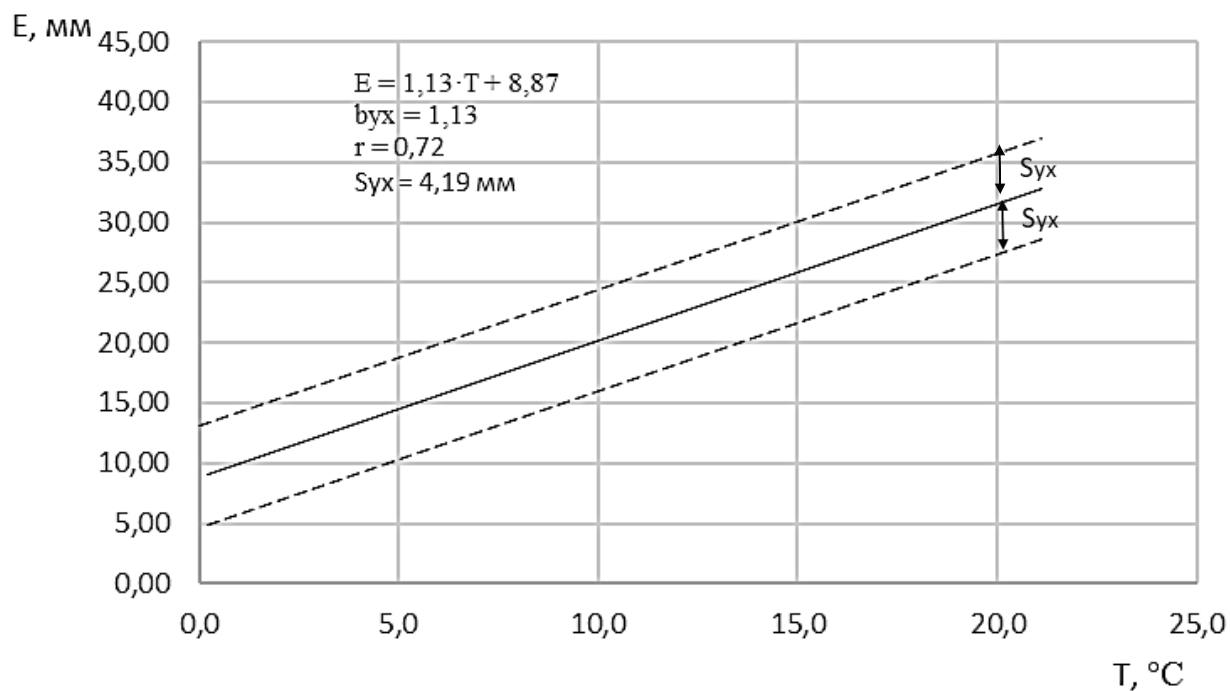


Климатические факторы за 2022 год и динамика изменения водопотребления суданской травы «Сенокосная 88» в вариантах опыта: ↑ посев, Δ укусы, ↓ поливы

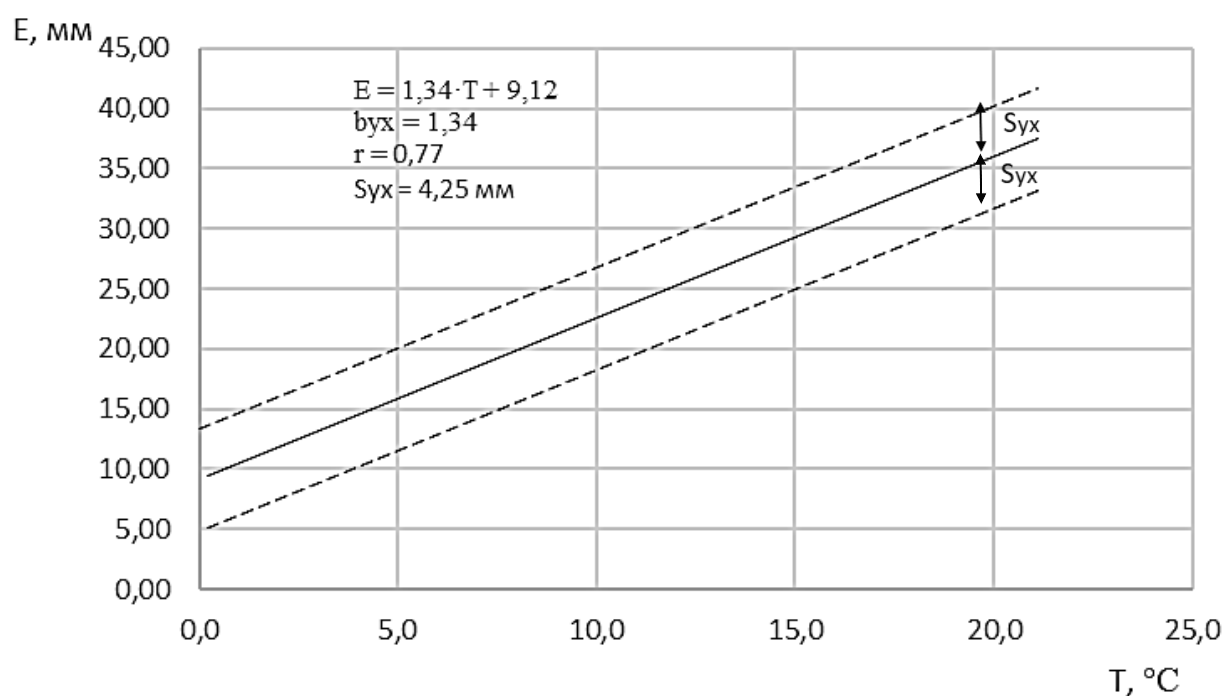
тср.сут., °C; дср.сут., мм; P, мм



Уравнения регрессии и статистические характеристики зависимости суммарного водопотребления суданской травы от температуры воздуха
для вариантов 70...80 % НВ



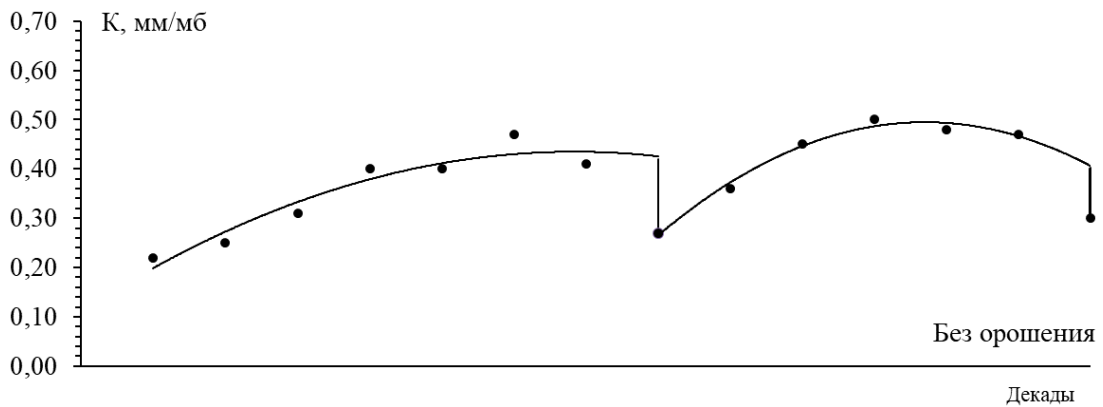
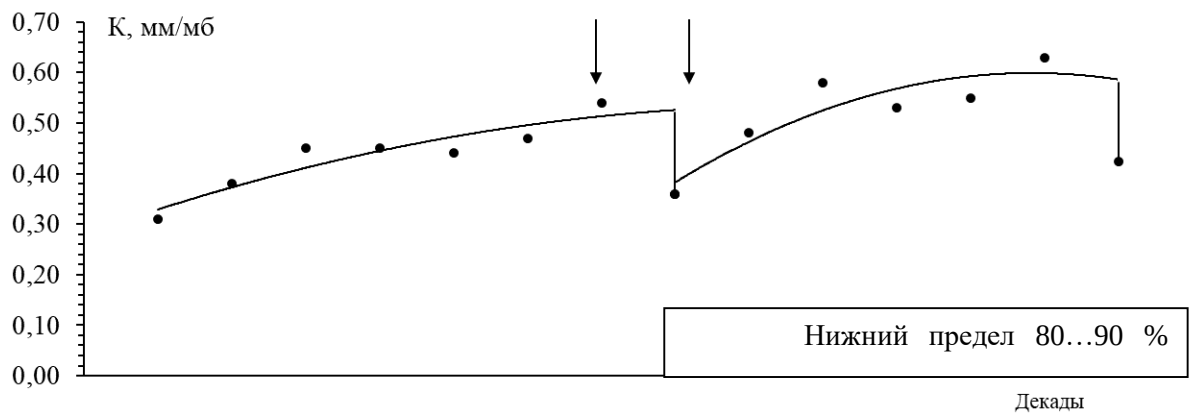
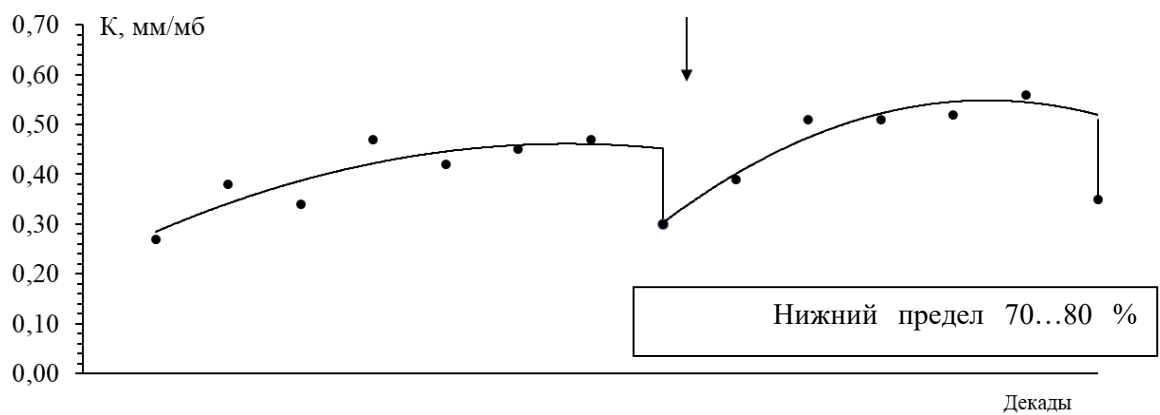
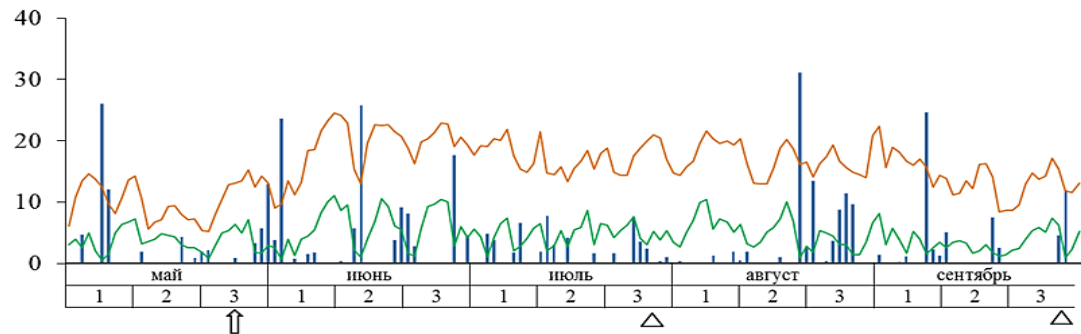
Уравнения регрессии и статистические характеристики зависимости суммарного водопотребления суданской травы от температуры воздуха
для вариантов 80...90 % НВ



Климатические факторы за 2020 год и динамика изменения биоклиматического коэффициента

суданской травы «Пружанская» в вариантах опыта: $\uparrow$ посев, Δ укосы, $\downarrow$ поливы

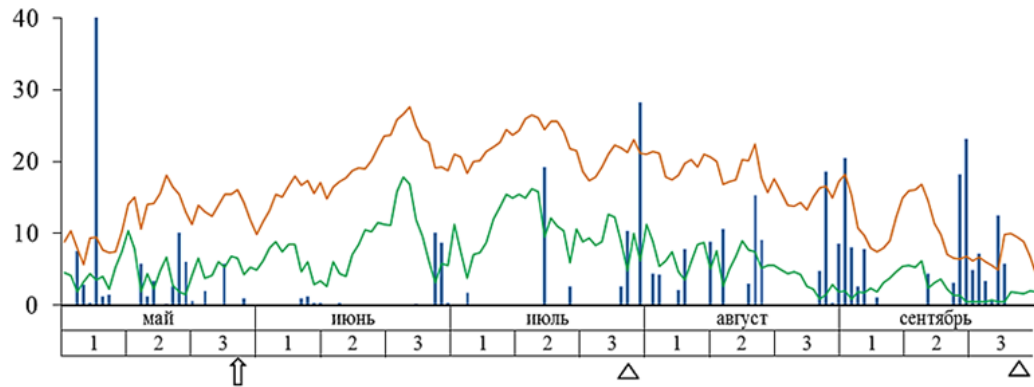
$t_{\text{ср.сут.}}$, °C; $d_{\text{ср.сут.}}$, мб; $P_{\text{сут.}}$, мм



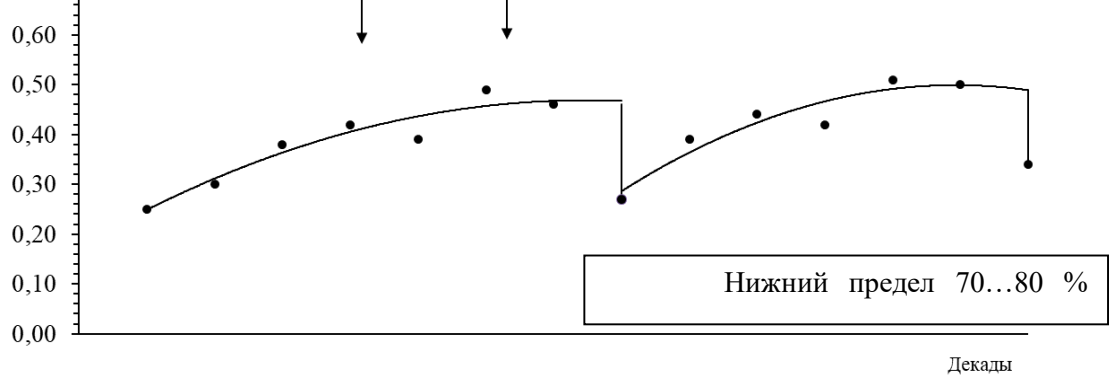
Климатические факторы за 2021 год и динамика изменения биоклиматического коэффициента

суданской травы «Пружанская» в вариантах опыта: $\Uparrow$ посев, Δ укосы, $\Downarrow$ поливы

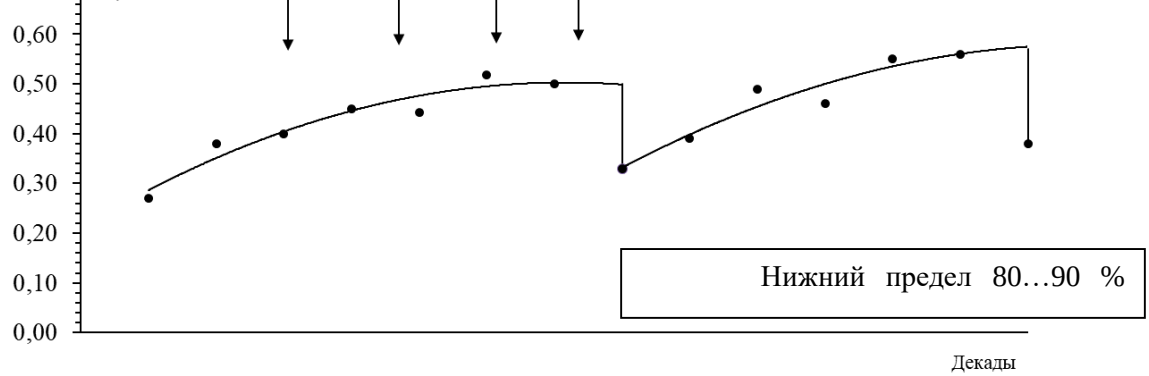
тср.сут., °C; дср.сут., мб; Рсут, мм



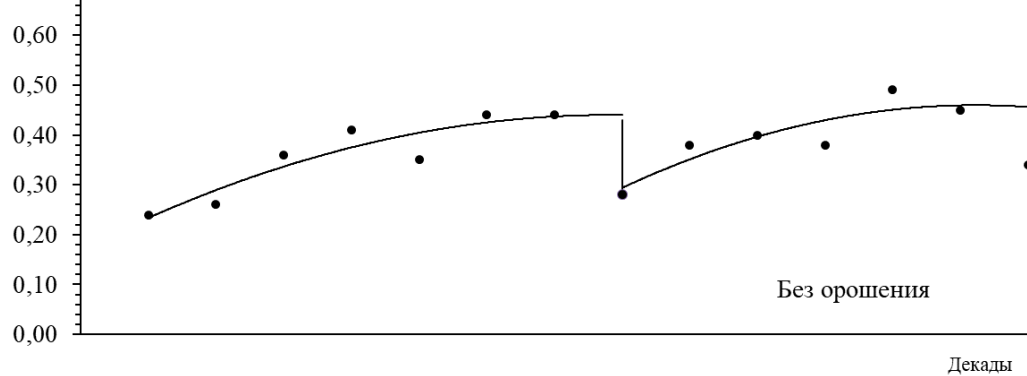
К, мм/мб



К, мм/мб



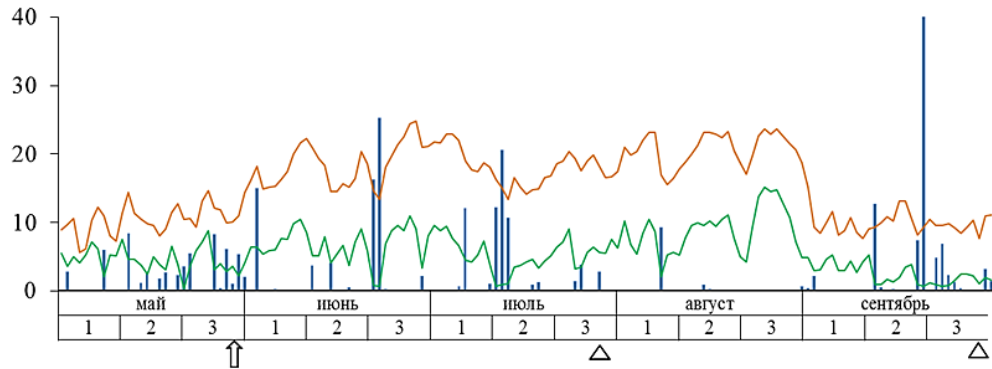
К, мм/мб



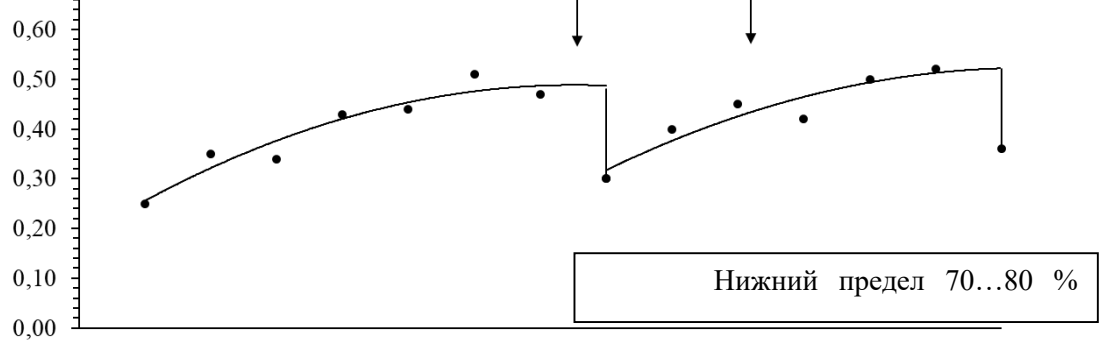
Климатические факторы за 2022 год и динамика изменения биоклиматического коэффициента

суданской травы «Пружанская» в вариантах опыта: $\Uparrow$ посев, Δ укосы, $\Downarrow$ поливы

тср.сут., °C; дср.сут., мб; P, мм

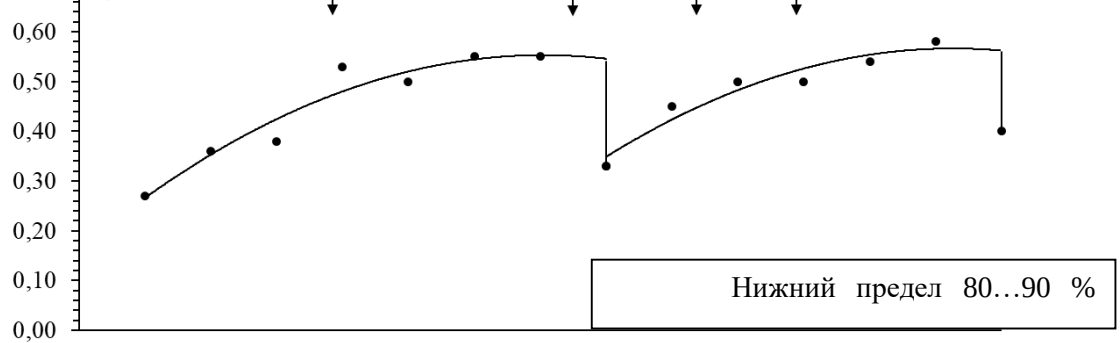


К, мм/мб



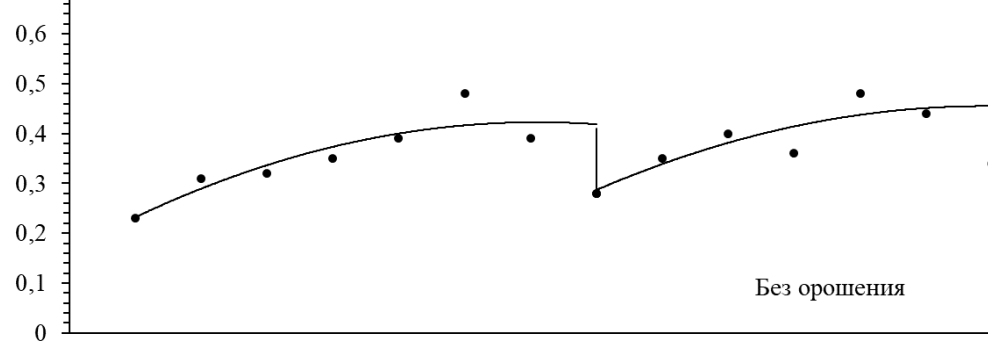
Декады

К, мм/мб



Декады

К, мм/мб

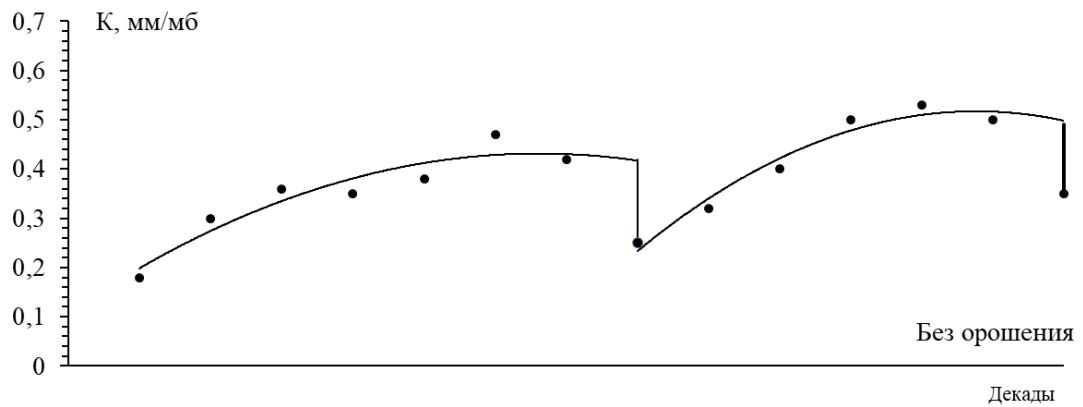
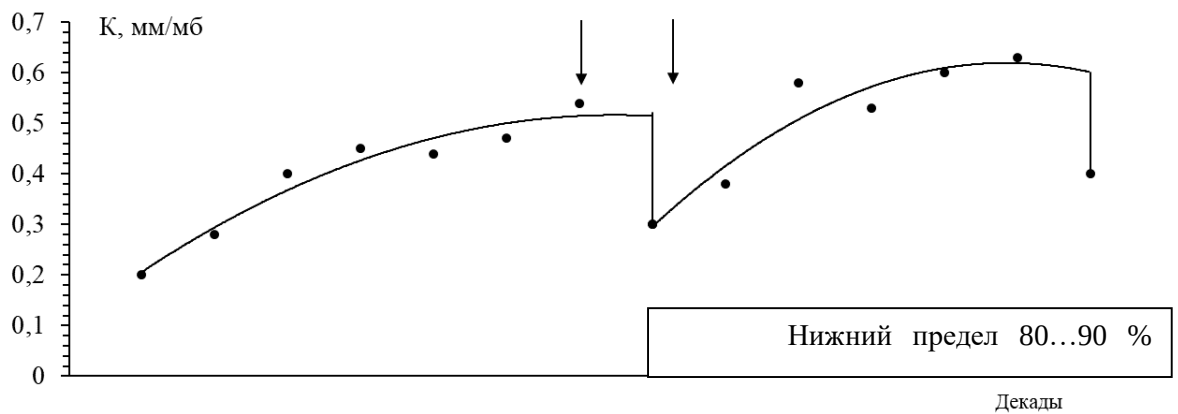
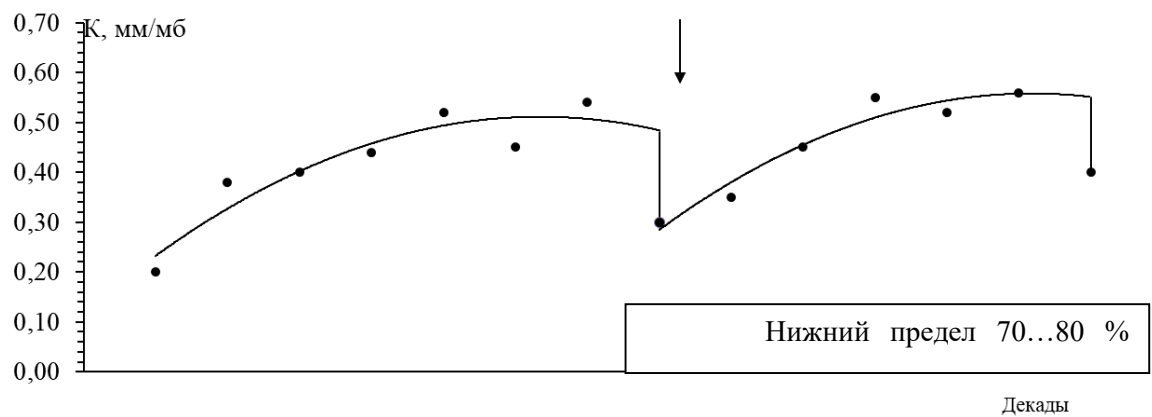
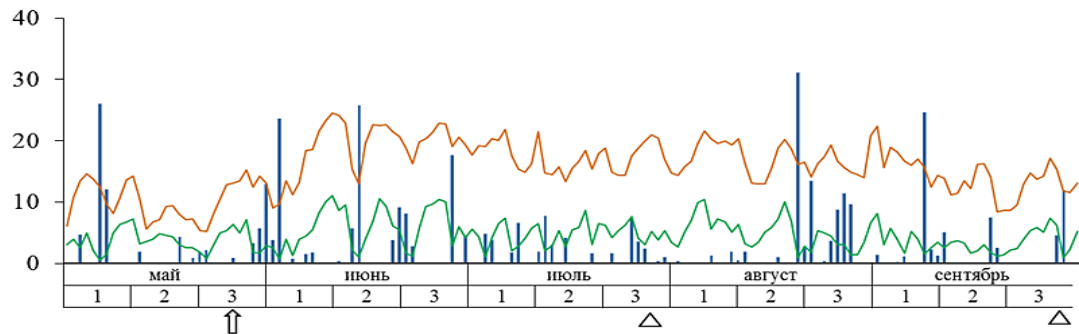


Декады

Климатические факторы за 2020 год и динамика изменения биоклиматического коэффициента

суданской травы «Сенокосная 88» в вариантах опыта: $\uparrow$ посев, Δ укосы, $\downarrow$ поливы

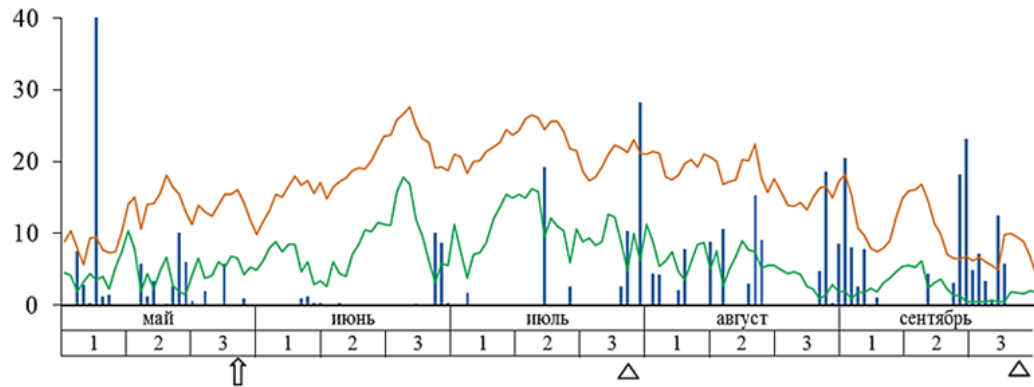
$t_{\text{ср.сут.}}$, °C; $d_{\text{ср.сут.}}$, мб; $P_{\text{сут.}}$, мм



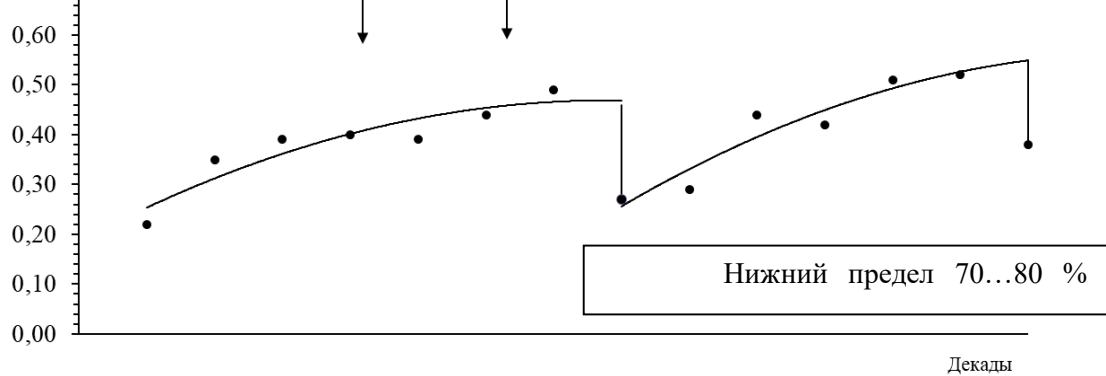
Климатические факторы за 2021 год и динамика изменения биоклиматического коэффициента

суданской травы «Сенокосная 88» в вариантах опыта: $\uparrow$ посев, $\triangle$ укосы, $\downarrow$ поливы

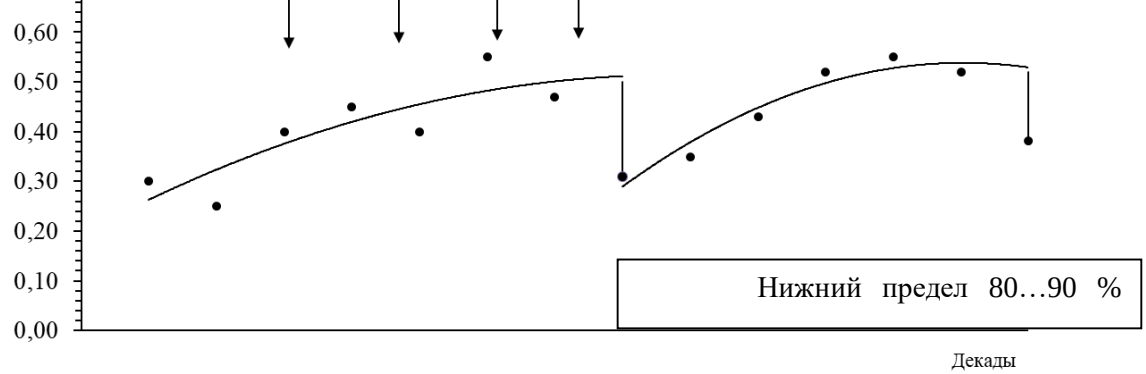
тср.сут., °C; дср.сут., мб; Рсут, мм



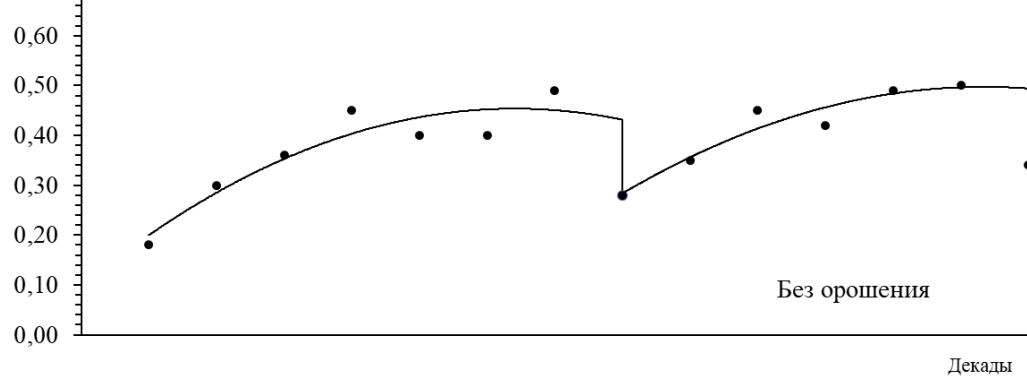
К, мм/мб



К, мм/мб



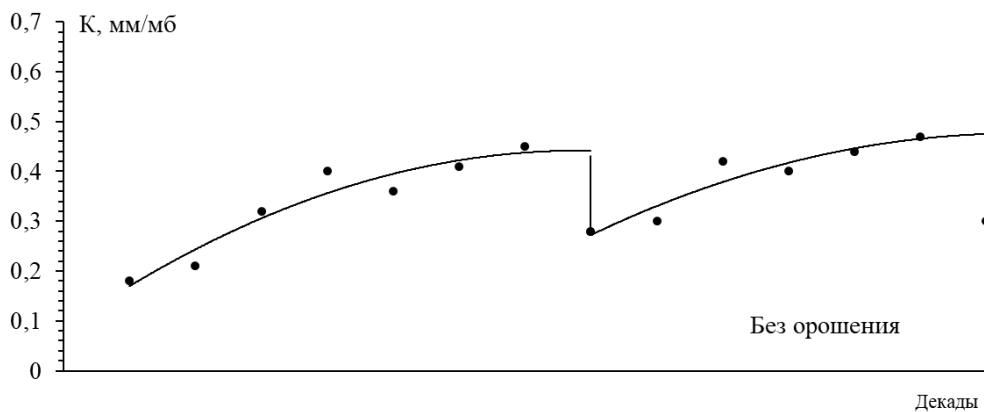
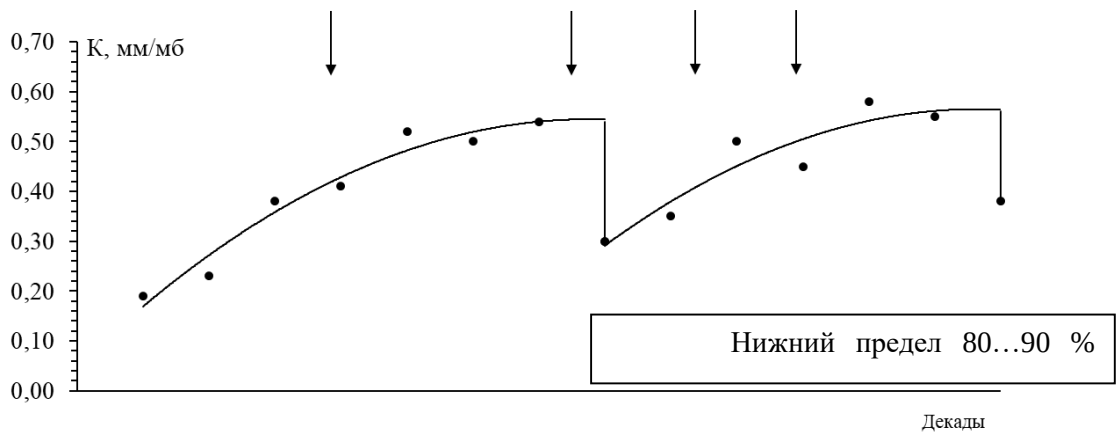
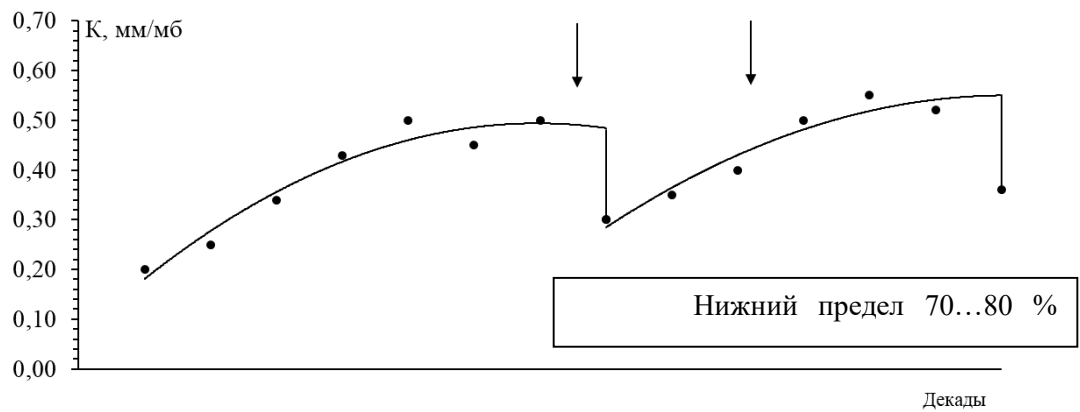
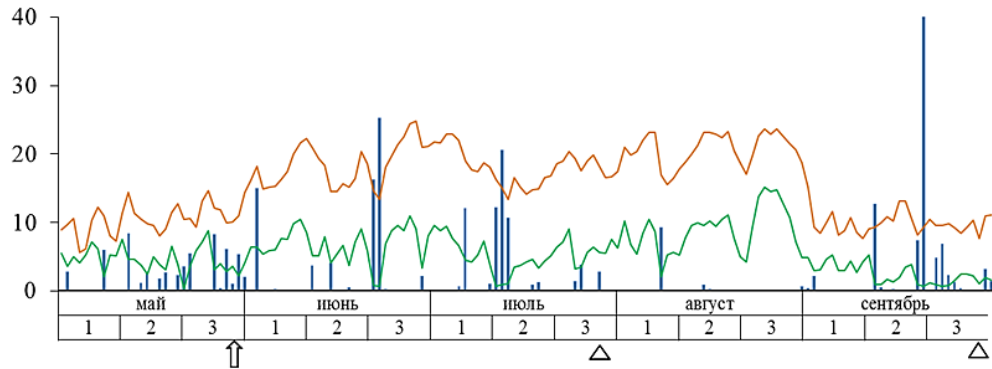
К, мм/мб



Климатические факторы за 2022 год и динамика изменения биоклиматического коэффициента

суданской травы «Сенокосная 88» в вариантах опыта: ↑ посев, △ укусы, ↓ поливы

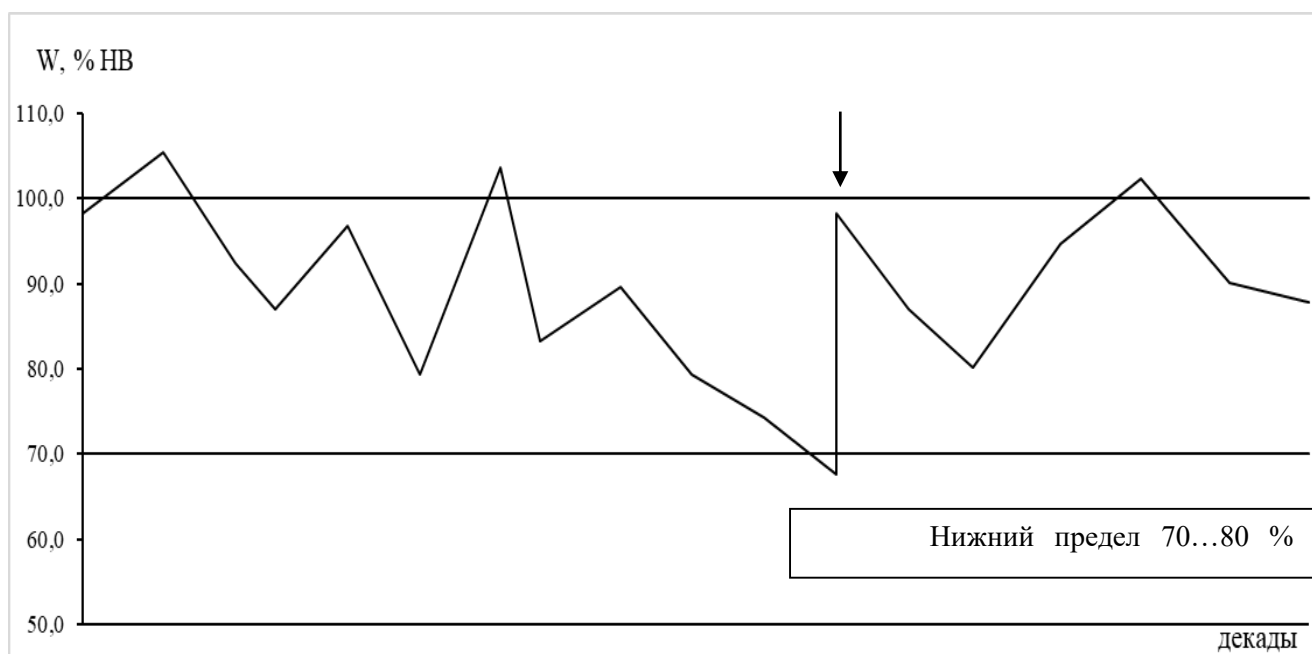
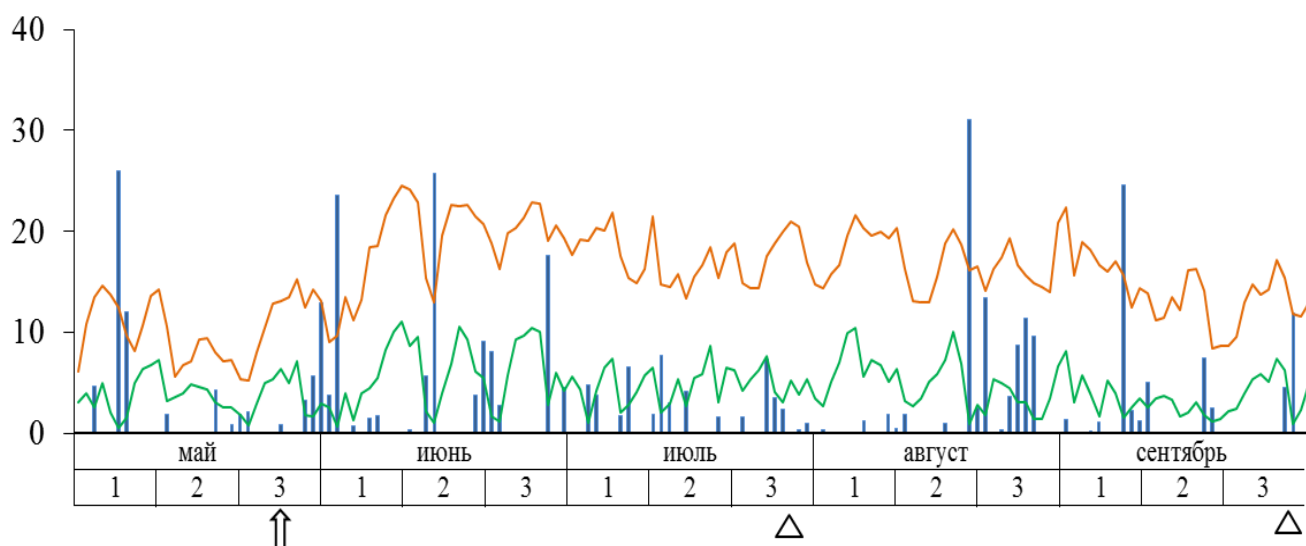
тср.сут., °C; дср.сут., мм; Р, мм



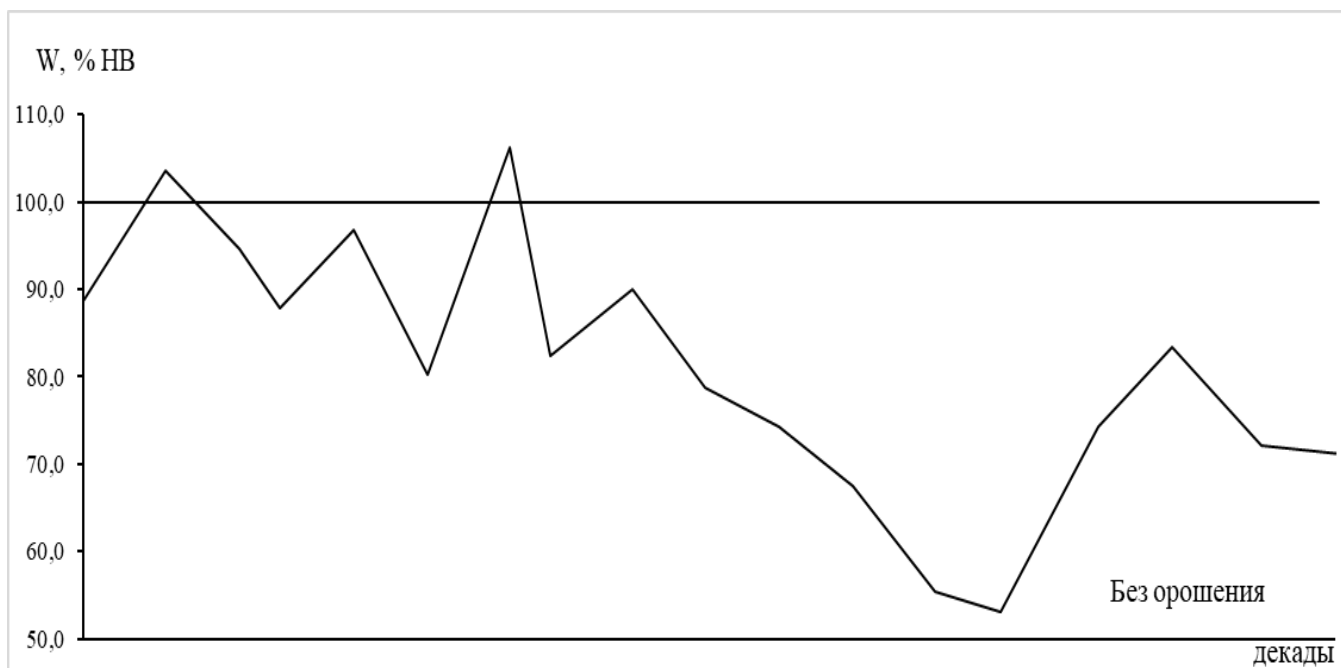
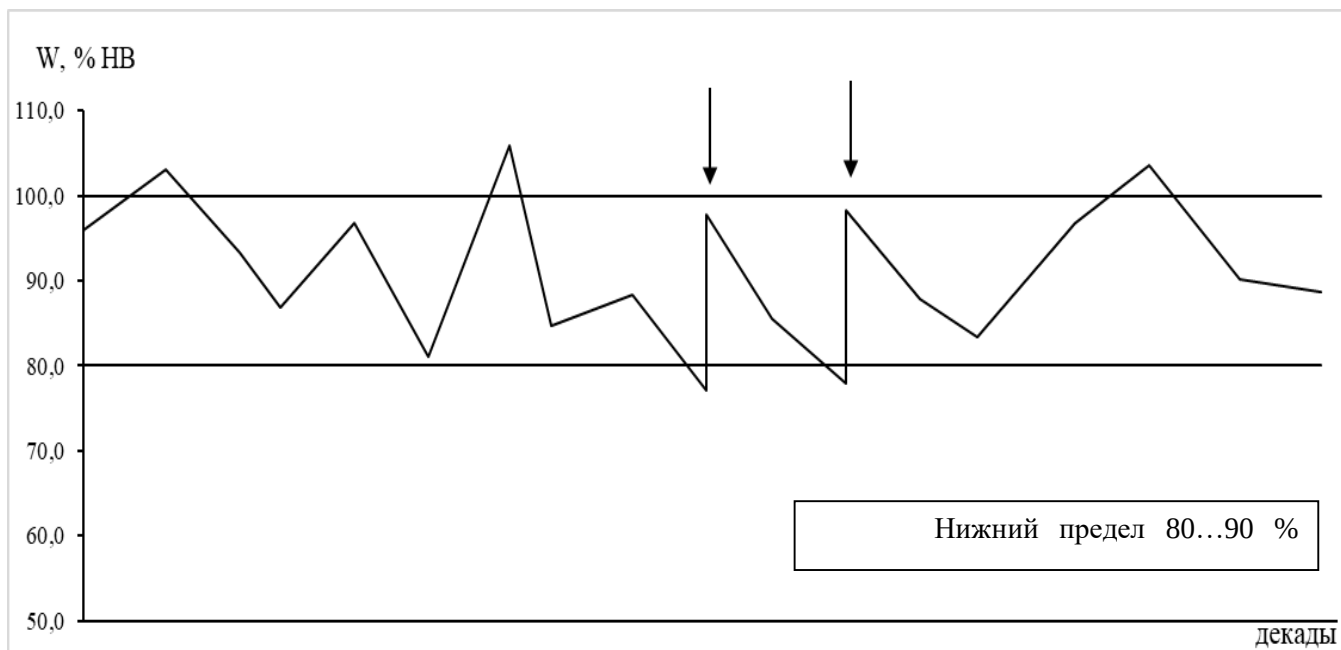
Климатические факторы за 2020 год и динамика изменения влажности в вариантах опыта в слое 0-40 см. суданской травы «Пружанская»:

↑ посев, △ укусы, ↓ поливы

t_{ср.сут.}, °C; d_{ср.сут.}, мб; Р_{сут.}, мм



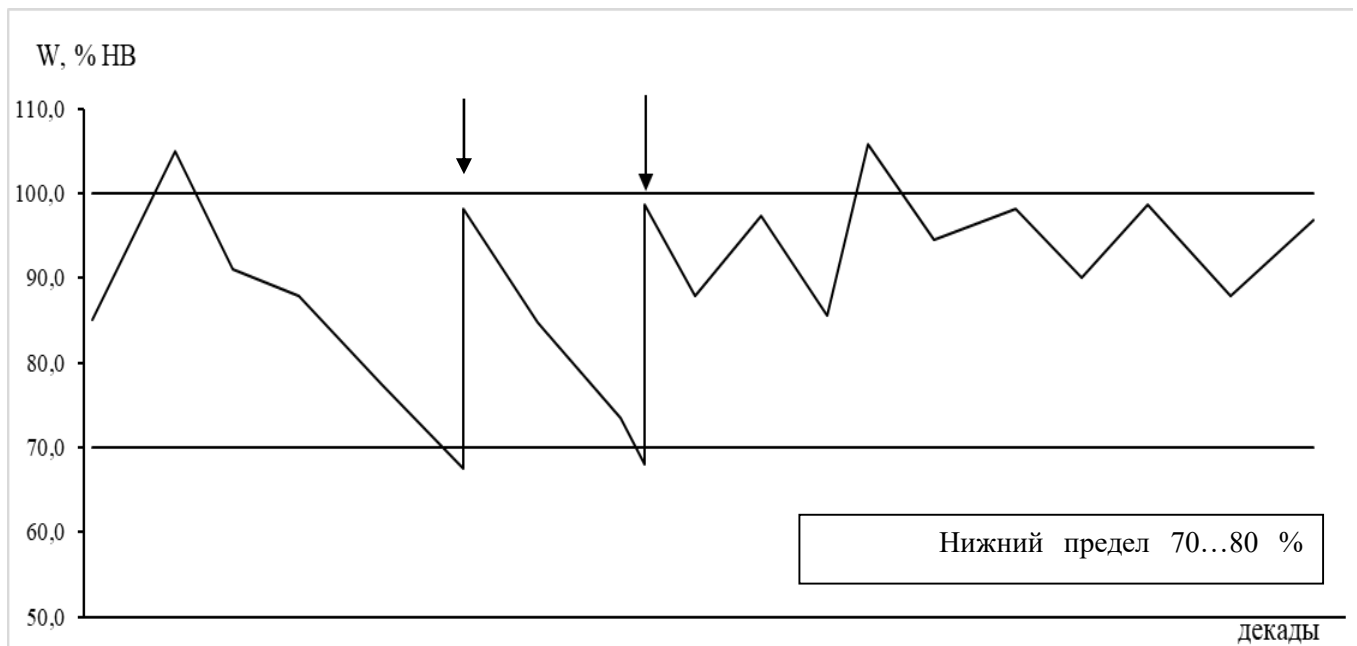
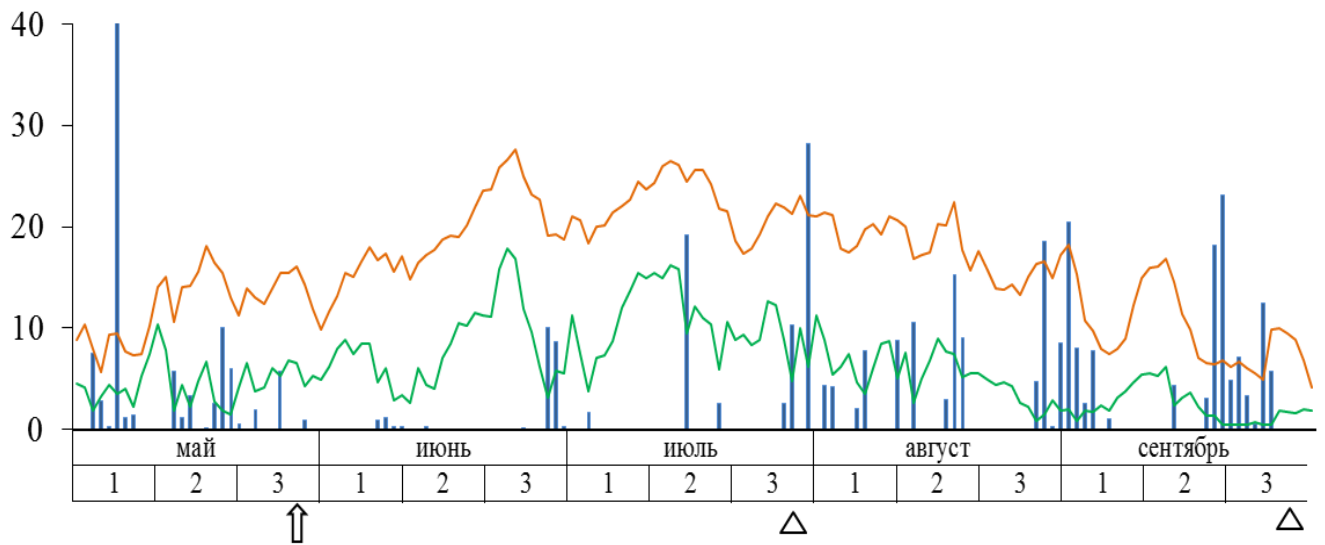
Продолжение приложения 13

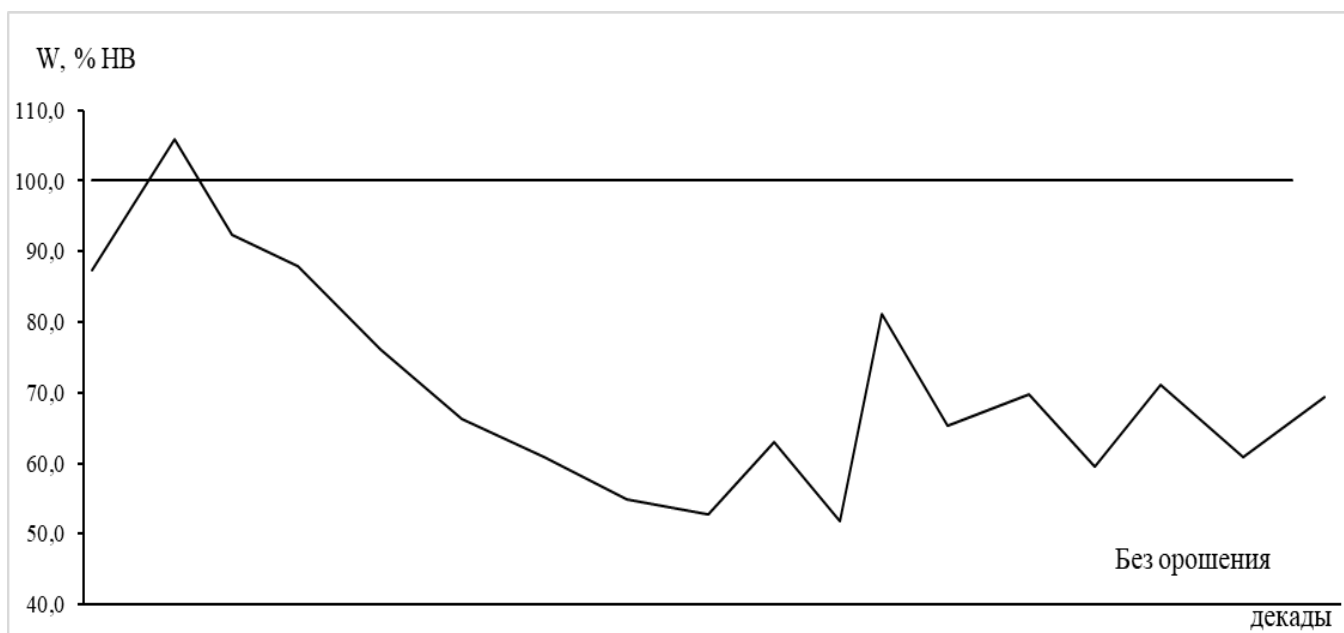
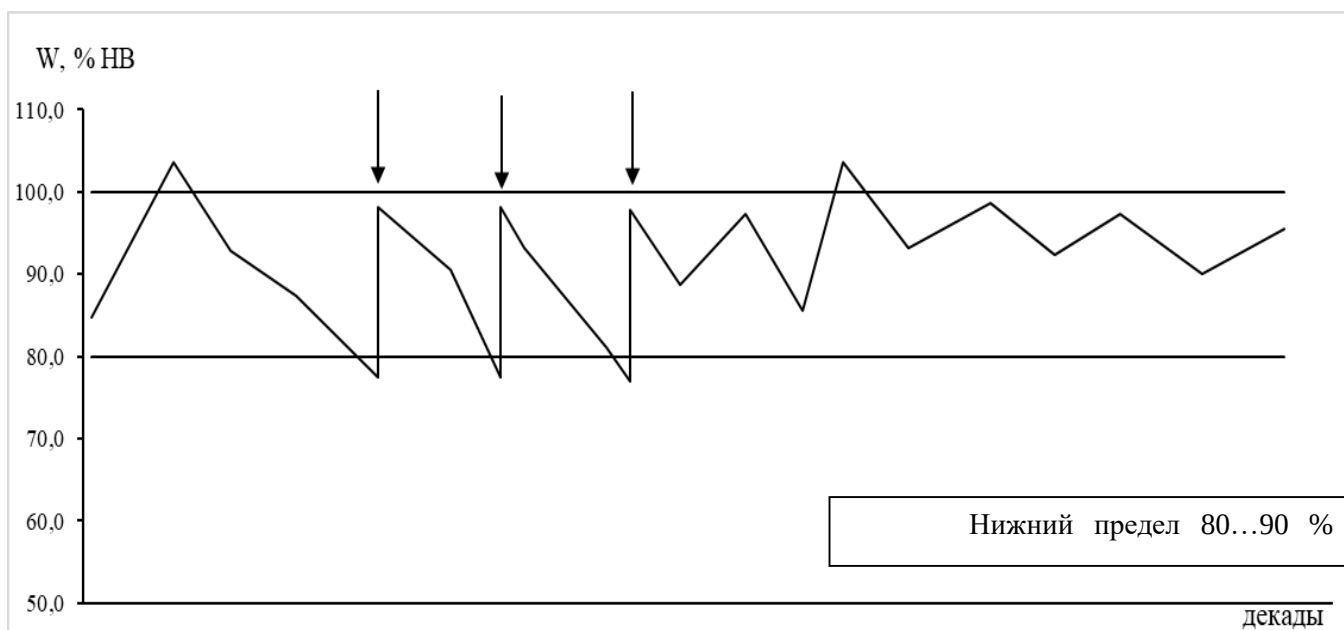


Климатические факторы за 2021 год и динамика изменения влажности в вариантах опыта в слое 0-40 см. суданской травы «Пружанская»:

↑ посев, Δ укусы, ↓ поливы

$t_{cp.сут.}$, °C; $d_{cp.сут.}$, мб; $P_{сут.}$, мм

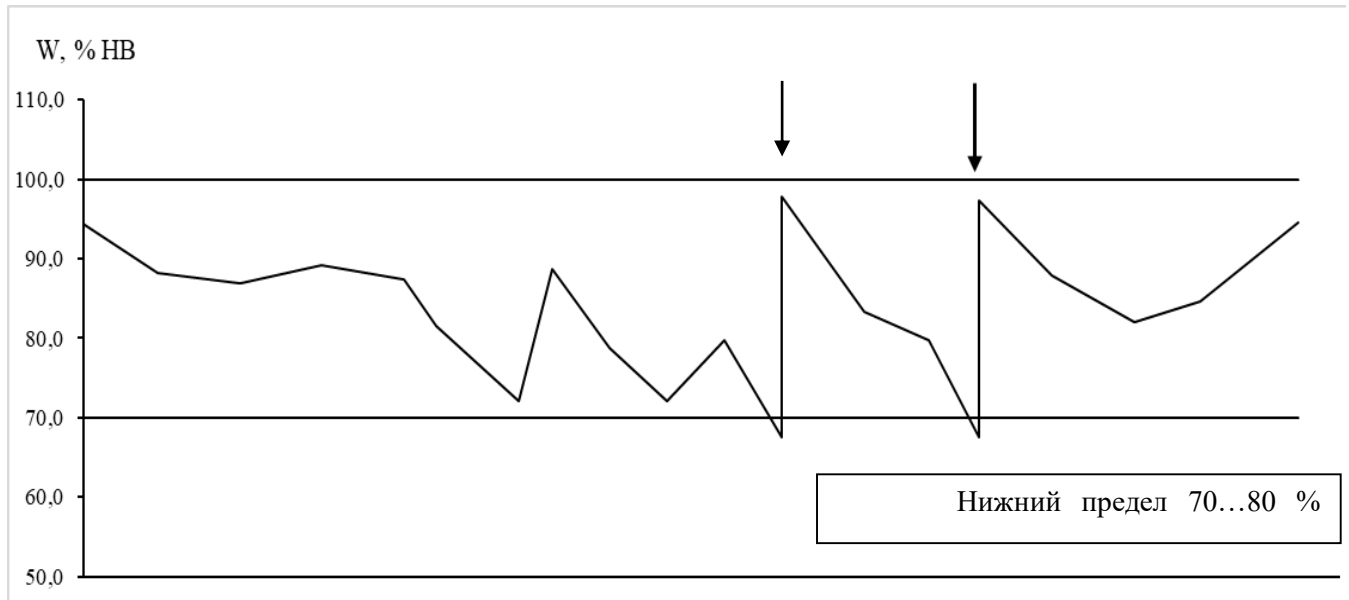
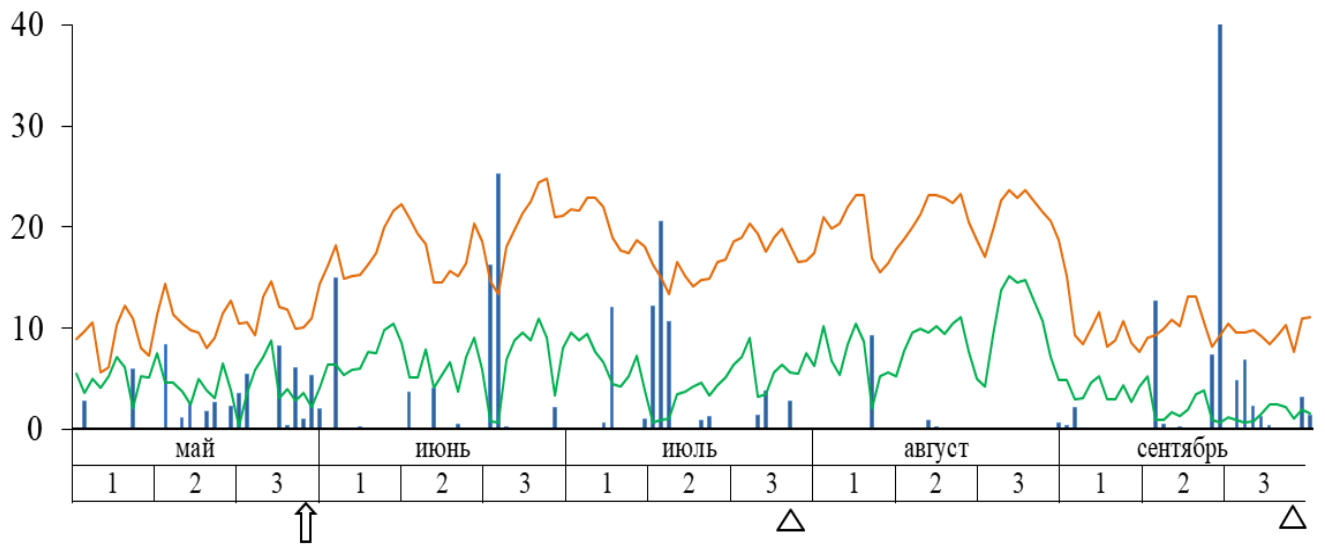




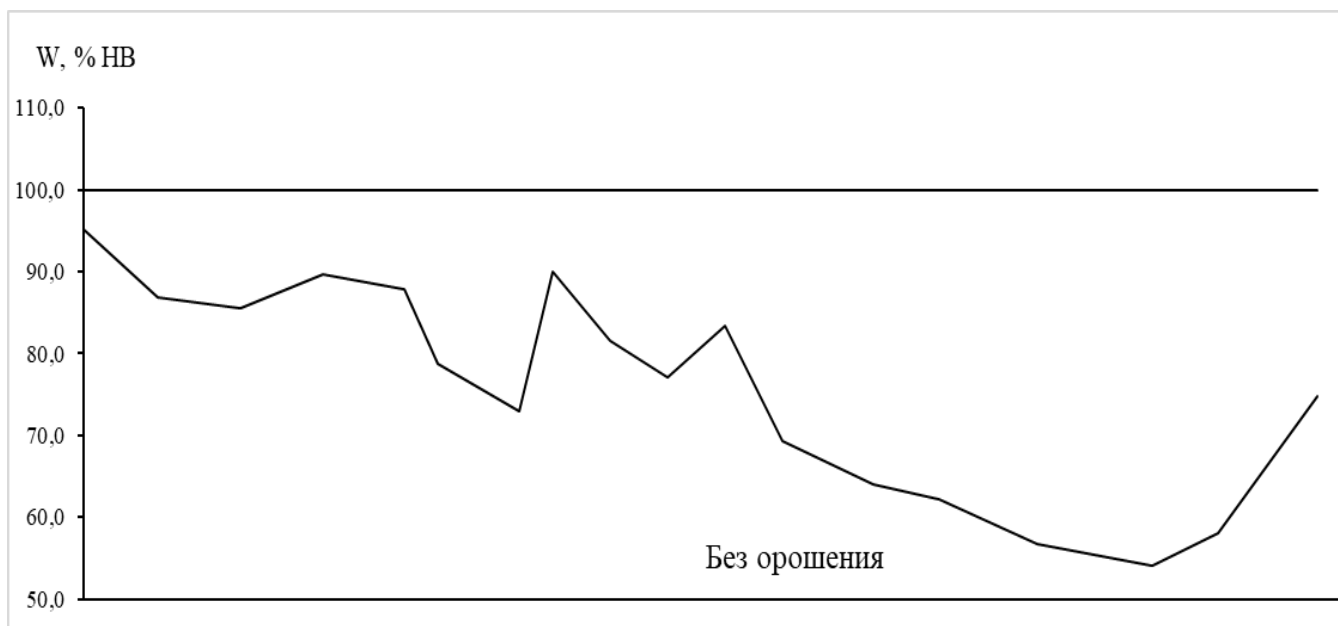
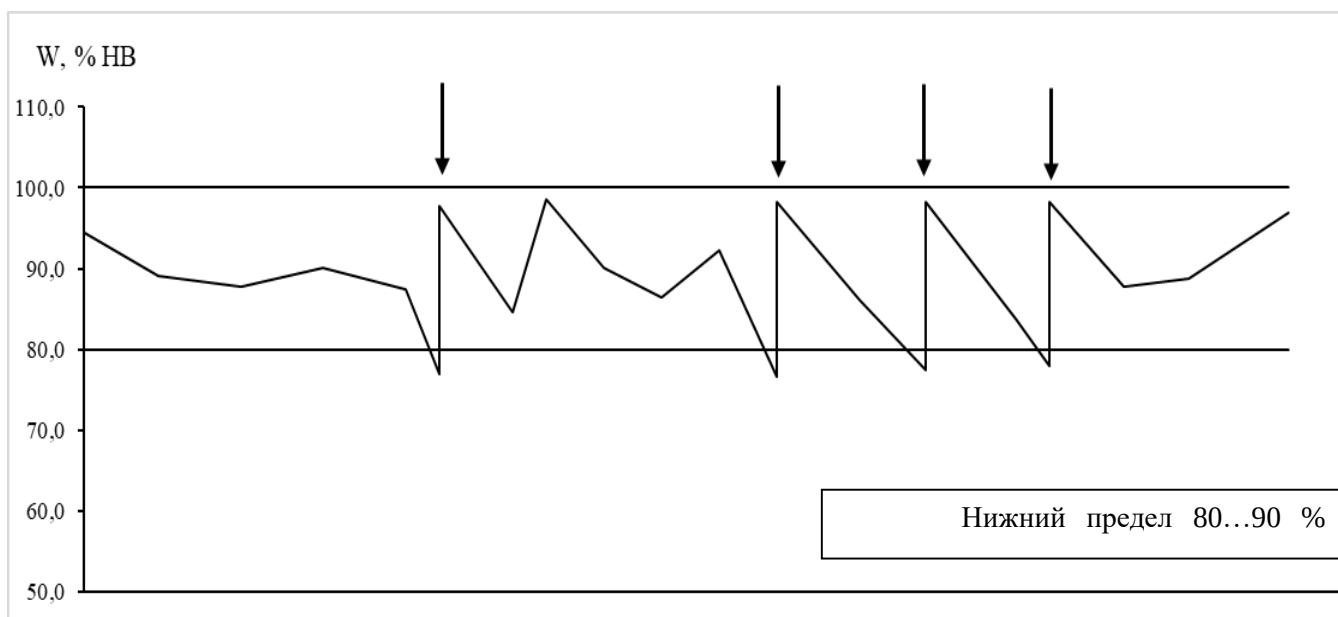
Климатические факторы за 2022 год и динамика изменения влажности в вариантах опыта в слое 0-40 см. суданской травы «Пружанская»:

↑ посев, Δ укусы, ↓ поливы

тср.сут., °C; дср.сут., мб; P, мм



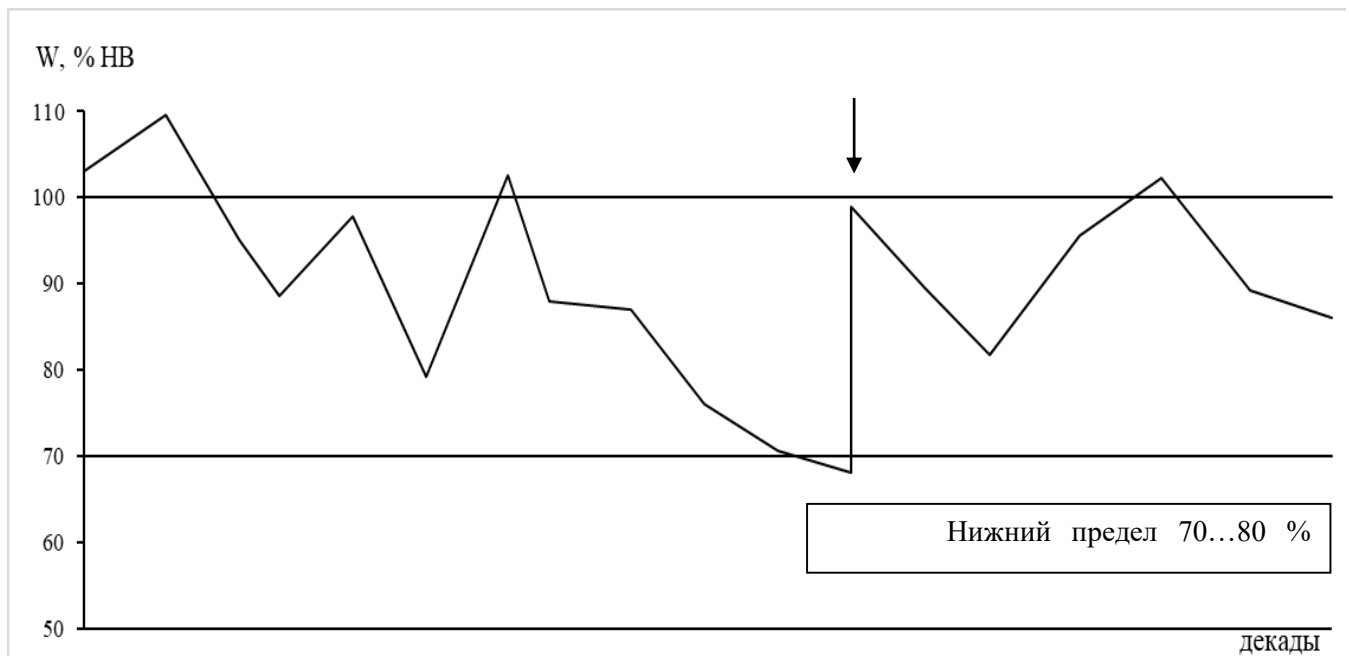
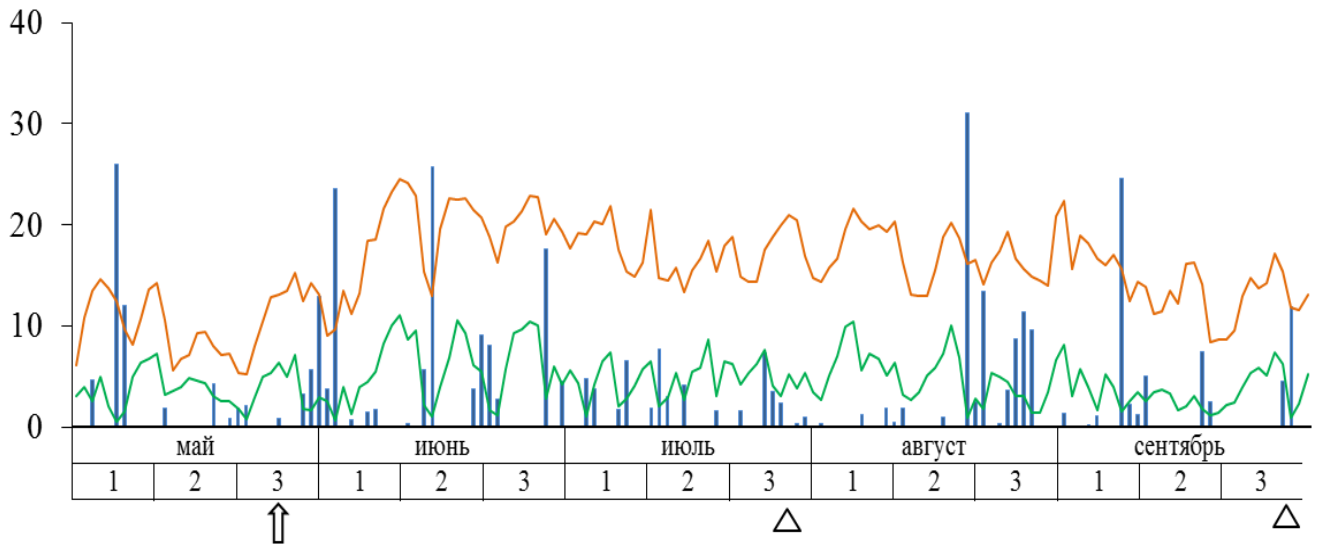
Продолжение приложения 13



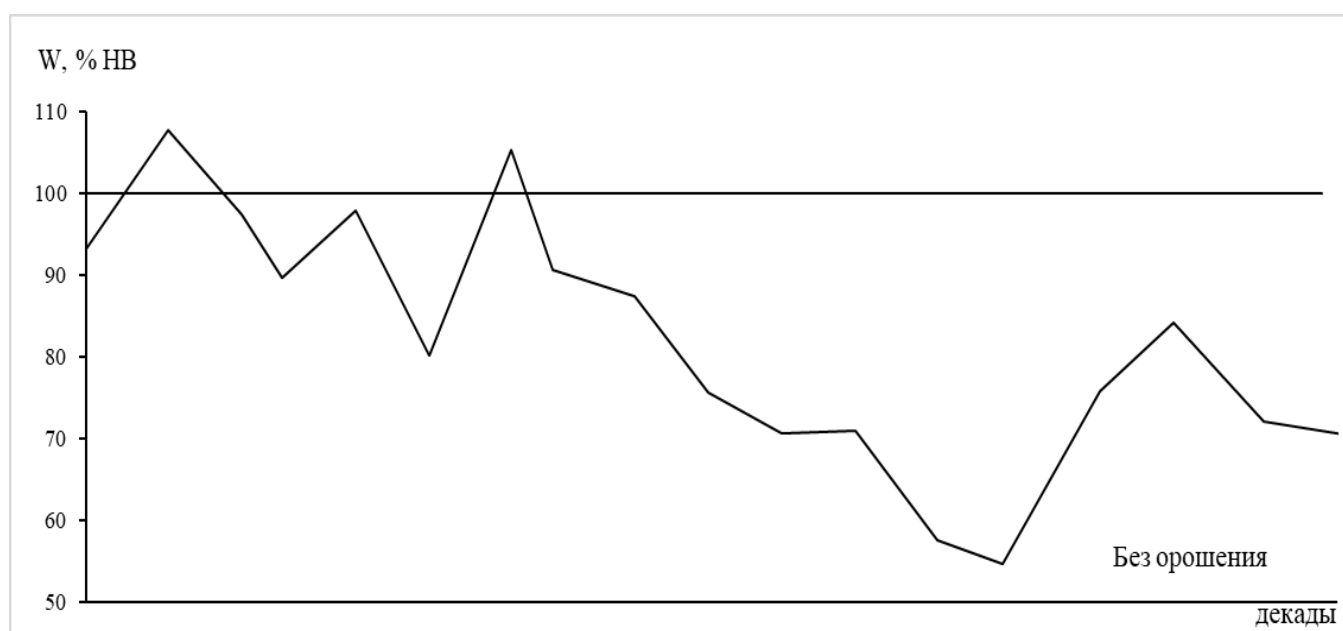
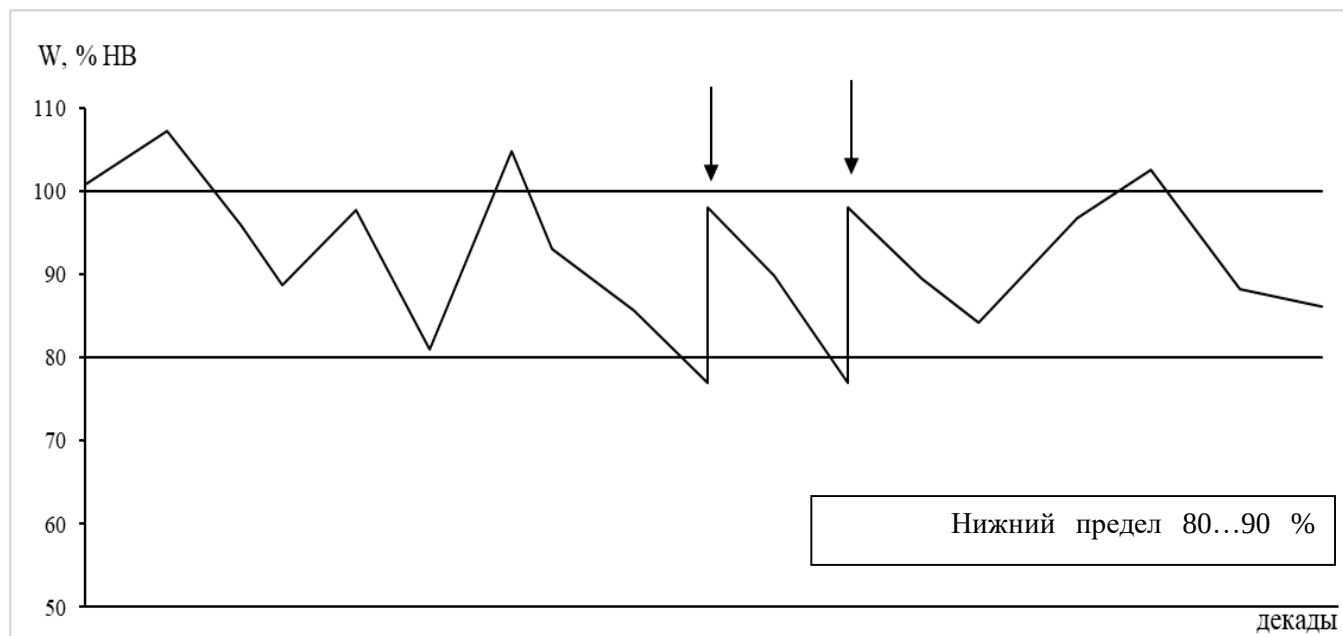
Климатические факторы за 2020 год и динамика изменения влажности в вариантах опыта в слое 0-40 см. суданской травы «Сенокосная 88»:

↑ посев, △ укусы, ↓ поливы

тср.сут., °C; дср.сут., мб; Рсут, мм



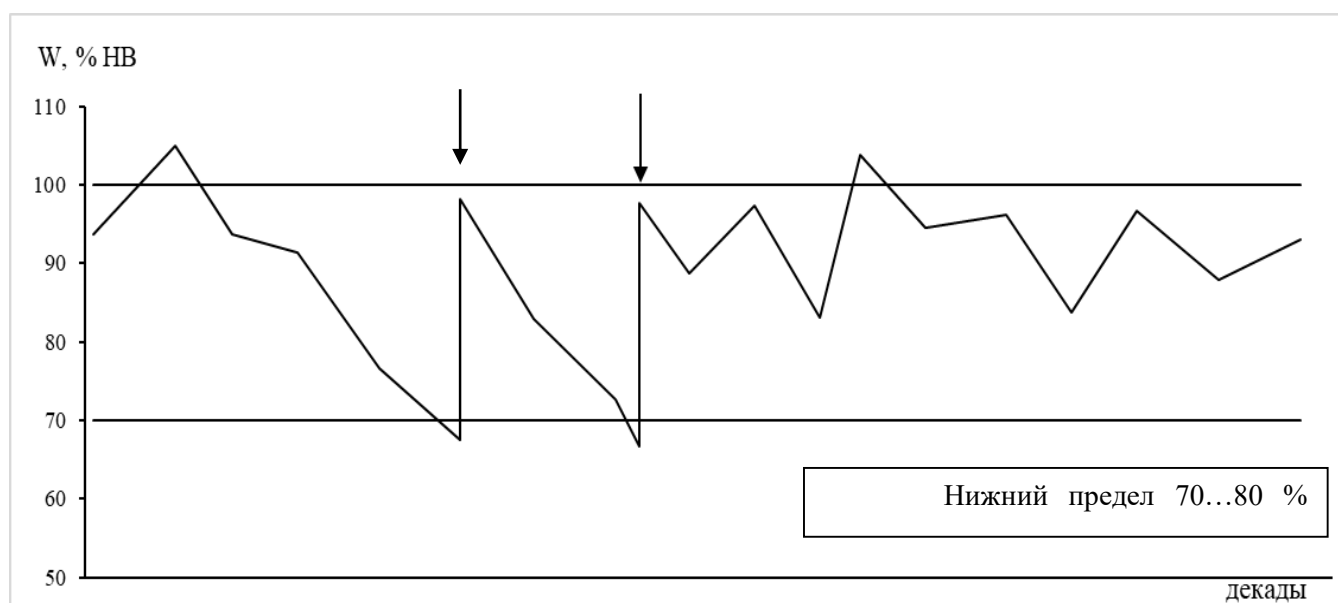
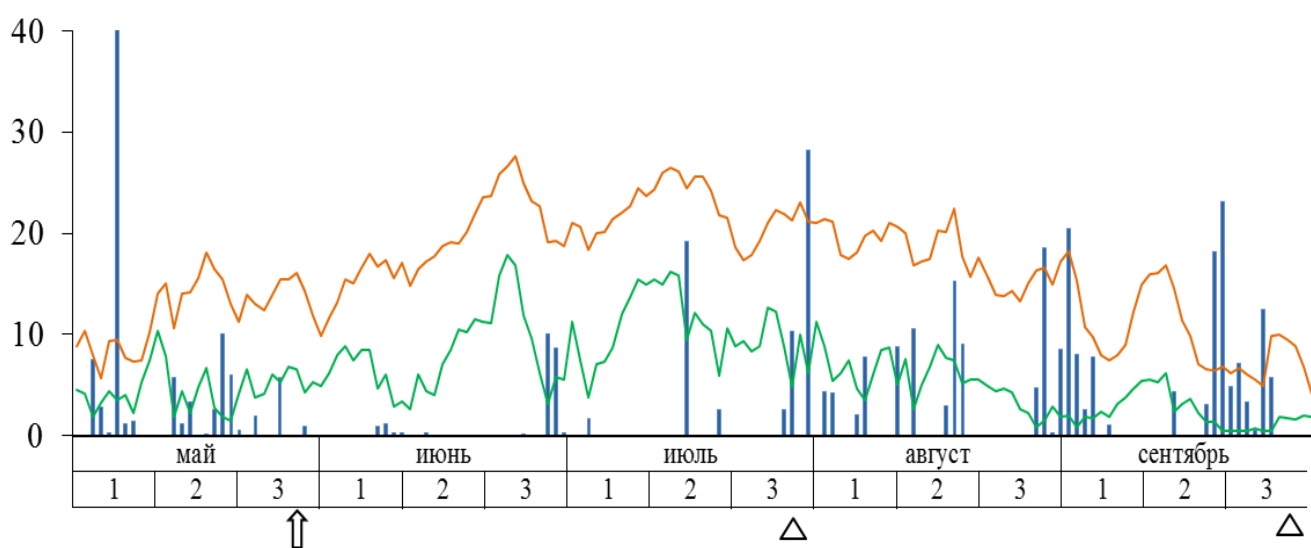
Продолжение приложения 13



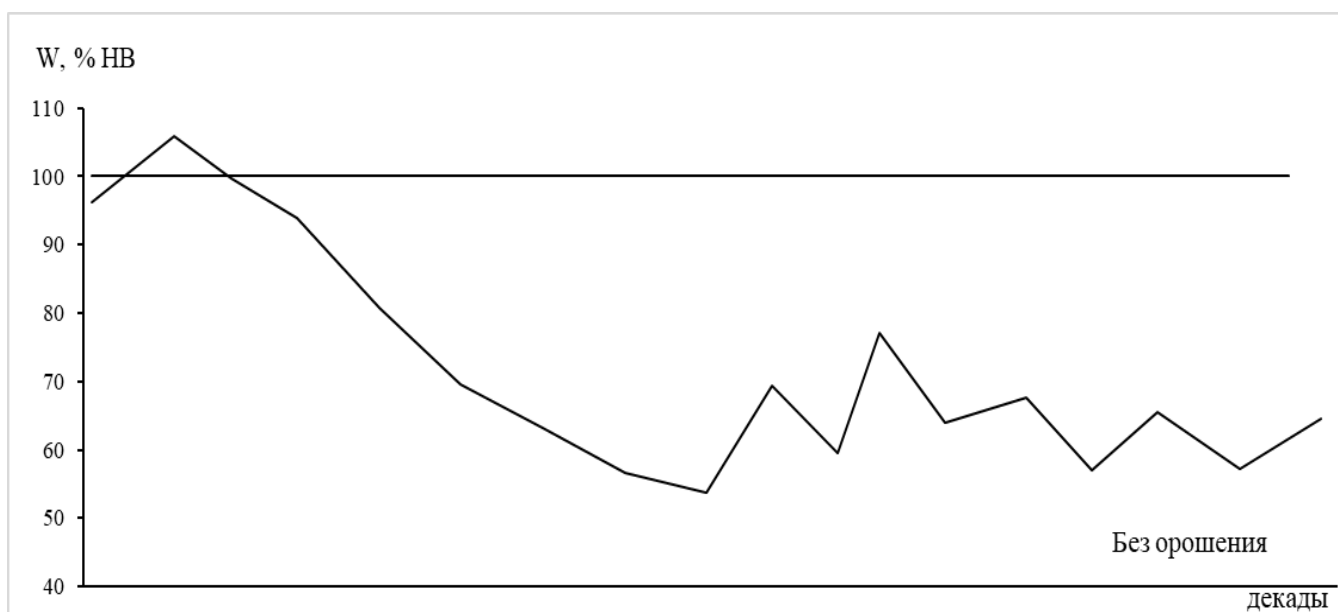
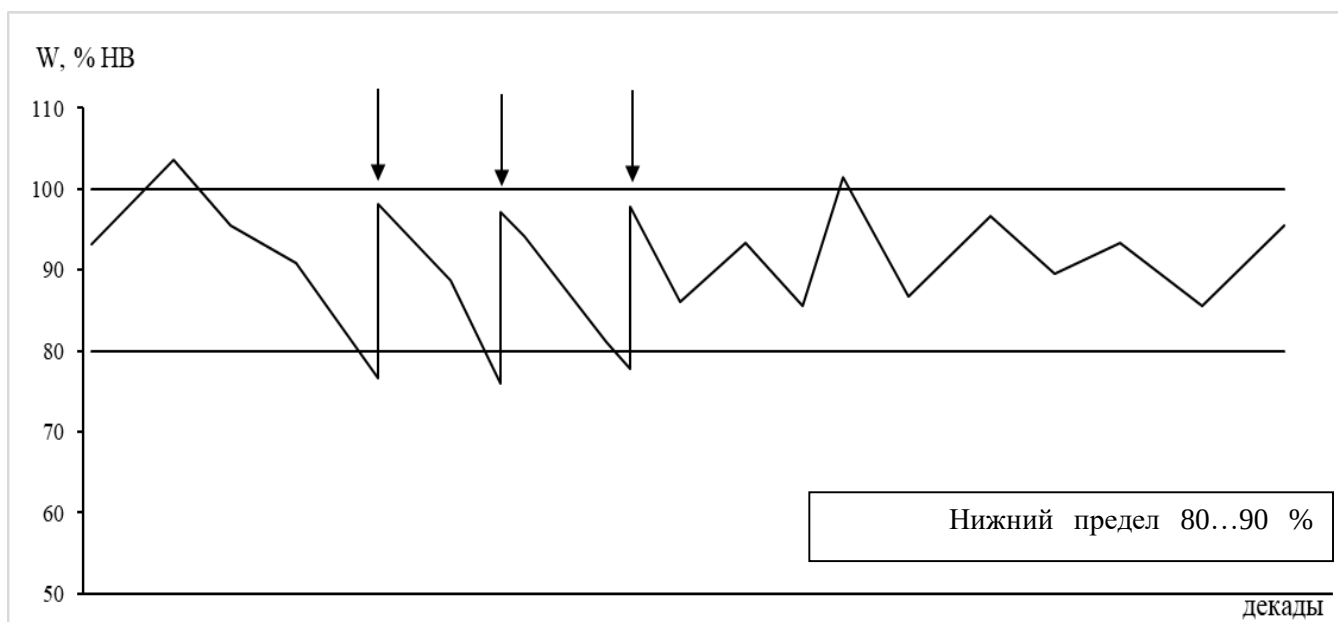
Климатические факторы за 2021 год и динамика изменения влажности в вариантах опыта в слое 0-40 см. суданской травы «Сенокосная 88»:

↑ посев, Δ укосы, ↓ поливы

$t_{ср.сут.}$, °C; $d_{ср.сут.}$, мб; $P_{сут.}$, мм



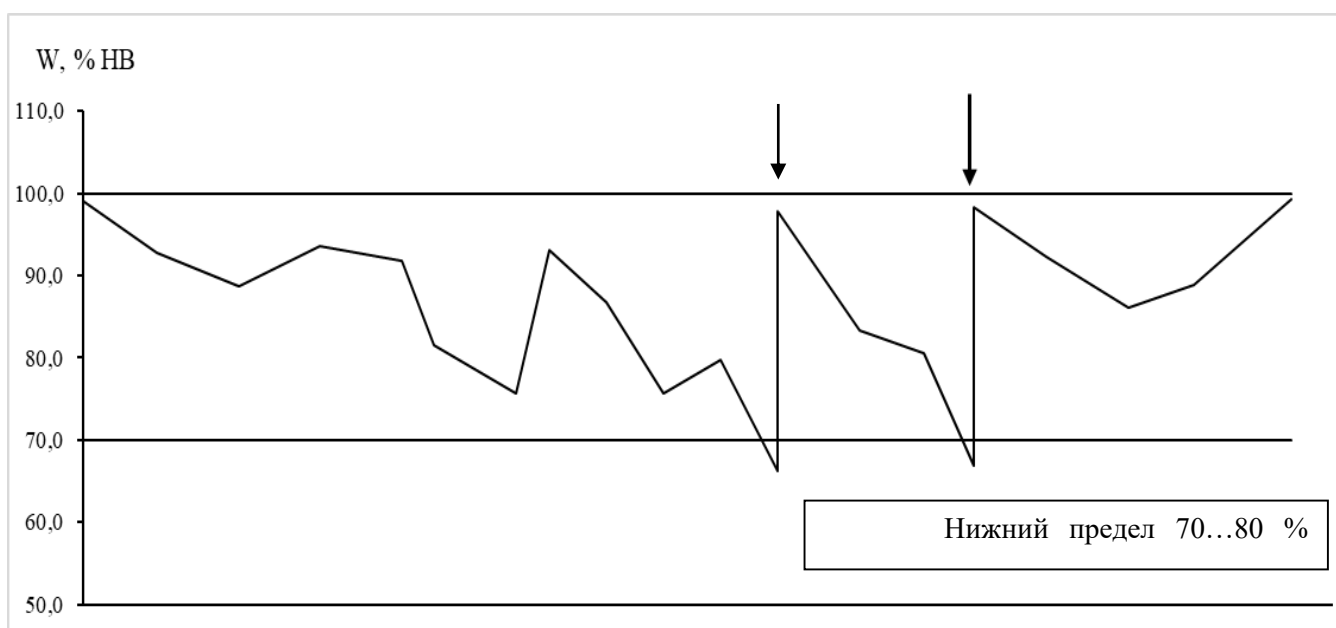
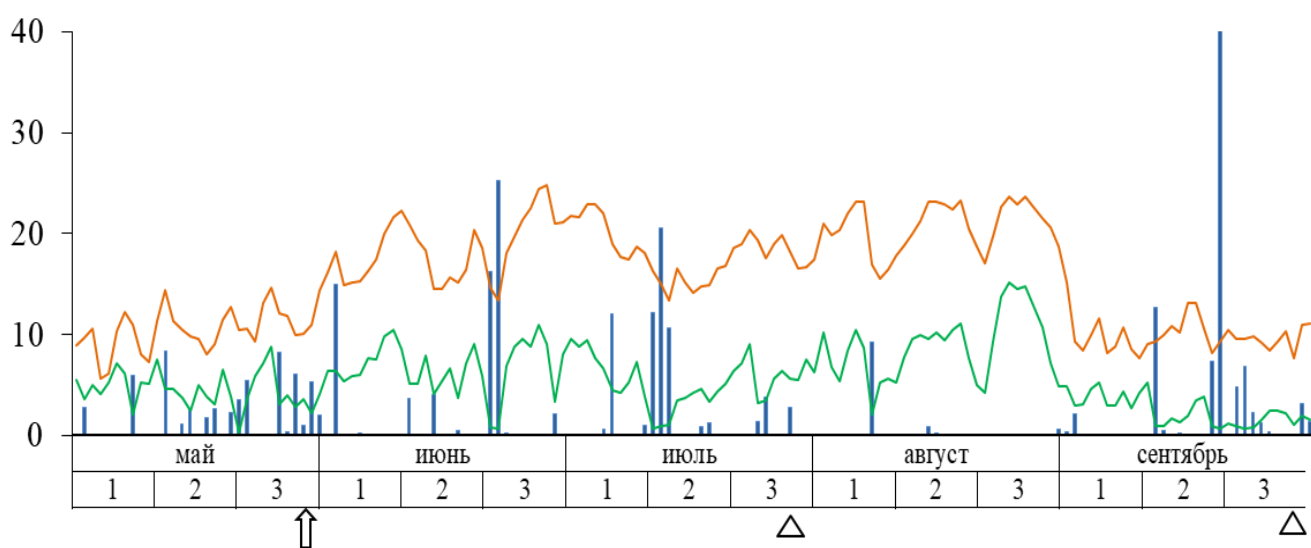
Продолжение приложения 13



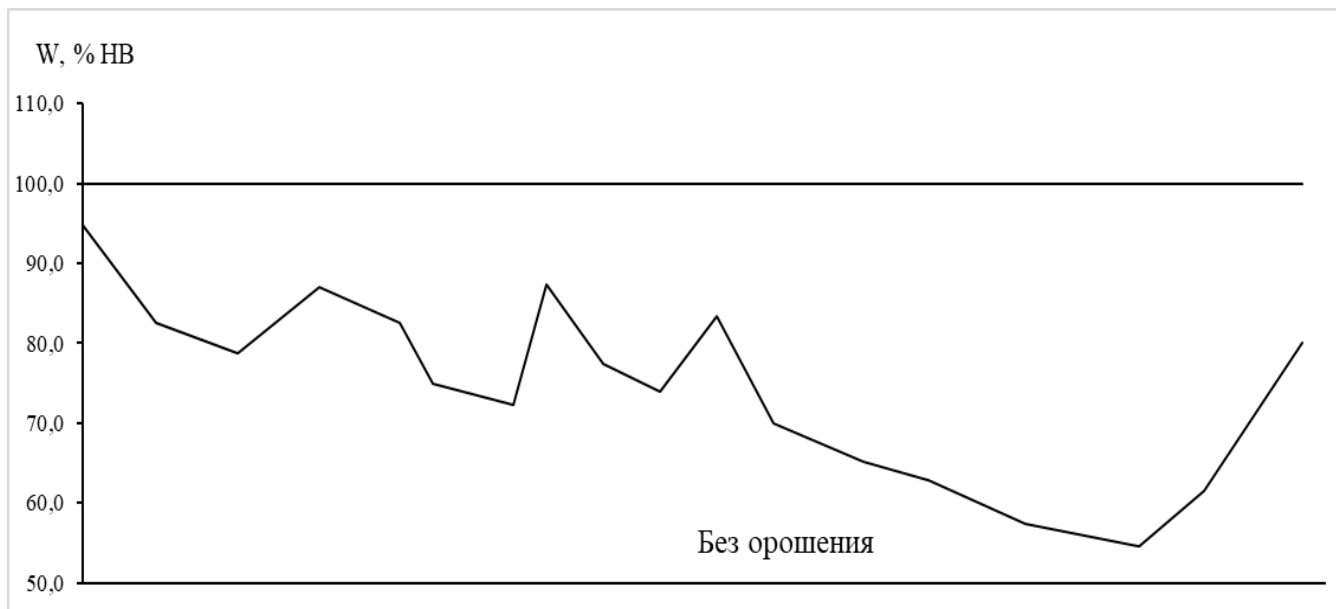
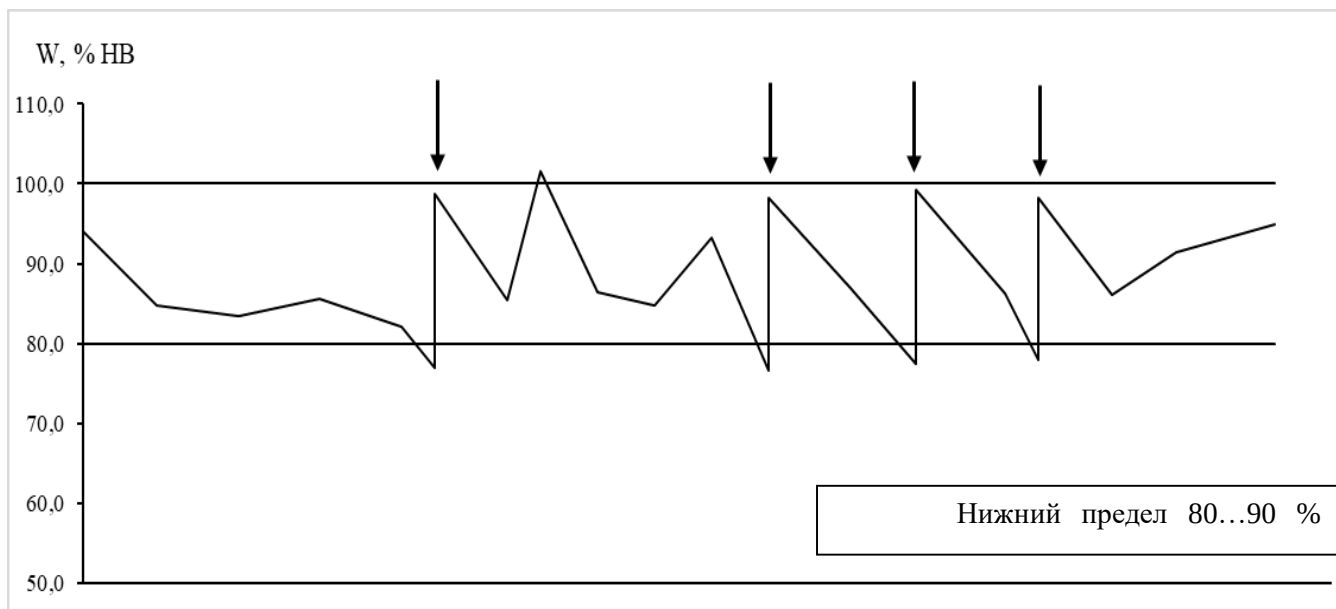
Климатические факторы за 2022 год и динамика изменения влажности в вариантах опыта в слое 0-40 см. суданской травы «Сенокосная 88»:

↑ посев, Δ укосы, ↓ поливы

$t_{ср.сут.}$, °C; $d_{ср.сут.}$, мб; P, мм



Продолжение приложения 13



Средняя интенсивность дождя разработанной насадки в зависимости от угла конуса дефлектора, диаметра сопла и напора (высота установки 2,0 м)

Диаметр сопла, мм	Напор перед насадкой, МПа	Расход воды, л/с	Радиус полива, м	Средняя интенсивность дождя, мм/мин
Угол вершины конуса дефлектора 40°				
10	0,093	0,90	2,6	2,54
10	0,151	1,15	3,3	2,02
10	0,231	1,43	4,2	1,55
10	0,252	1,50	4,3	1,55
10	0,323	1,70	4,8	1,41
12	0,148	1,65	3,1	3,28
12	0,192	1,86	3,4	3,08
12	0,230	2,02	4,4	1,99
12	0,265	2,16	5,4	1,41
12	0,316	2,34	5,7	1,37
16	0,085	2,28	2,6	6,44
16	0,165	3,03	3,8	4,01
16	0,230	3,49	4,2	3,78
16	0,282	3,81	4,8	3,16
16	0,310	3,97	5,0	3,03
Угол вершины конуса дефлектора 80°				
10	0,119	1,02	4,6	0,92
10	0,189	1,29	6,2	0,64
10	0,209	1,36	7,4	0,47
10	0,289	1,60	9,3	0,35
10	0,326	1,71	9,7	0,35
12	0,094	1,34	4,1	1,53
12	0,186	1,83	7,2	0,68
12	0,221	1,98	8,2	0,56
12	0,300	2,28	9,1	0,53
12	0,312	2,32	9,4	0,50
16	0,098	2,42	4,6	2,18
16	0,165	3,03	7,0	1,18
16	0,212	3,37	8,2	0,96
16	0,275	3,77	9,5	0,80
16	0,328	4,06	9,8	0,81

Угол вершины конуса дефлектора 120°				
10	0,079	0,83	4,0	0,99
10	0,151	1,15	7,2	0,42
10	0,214	1,38	10,8	0,23
10	0,261	1,52	11,1	0,24
10	0,350	1,77	13,4	0,19
12	0,129	1,55	5,3	1,06
12	0,189	1,85	7,3	0,66
12	0,226	2,00	12,2	0,26
12	0,272	2,18	13,2	0,24
12	0,361	2,48	15,2	0,21
16	0,090	2,34	6,6	1,03
16	0,179	3,13	8,6	0,81
16	0,218	3,41	11,2	0,52
16	0,294	3,87	12,8	0,45
16	0,410	4,47	14,6	0,40

Объём воды в дождемерах W_i по радиусу R_i , при давлении H_i ,
диаметр сопла 10 мм, высота установки 2 м

R_i , м	W_i , мл											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$H = 0,123$ МПа												
1	89	15	95	87	53	159	172	305	195	257	139	305
2	19	282	17	257	258	58	305	250	232	50	95	70
3	122	32	53	300	87	287	11	271	84	217	126	81
4	239	82	95	97	102	17	285	41	55	308	202	163
5	71	43	231	125	229	296	132	211	82	21	86	45
6	157	148	242	181	220	26	24	119	37	237	185	303
$H = 0,192$ МПа												
1	98	118	101	56	119	109	71	46	101	63	139	17
2	76	133	102	132	30	64	145	31	82	142	142	92
3	117	148	106	39	85	55	89	84	133	46	38	84
4	12	45	100	44	110	37	17	144	126	82	59	81
5	63	110	47	39	74	57	53	125	11	96	11	94
6	131	126	59	72	118	121	73	64	61	110	77	82
7	128	101	34	18	127	114	138	134	22	87	125	79
8	89	29	143	134	79	60	116	52	24	94	113	45
9	117	35	42	111	67	36	116	35	89	124	28	104
$H = 0,218$ МПа												
1	27	71	94	75	19	25	78	100	88	50	70	87
2	37	63	77	97	103	80	25	75	49	94	60	14
3	104	87	88	76	63	84	57	102	26	38	66	75
4	71	106	63	76	82	83	97	65	84	76	64	65
5	54	33	101	73	110	41	31	91	98	92	91	69
6	83	81	100	72	90	82	100	98	74	61	87	83
7	66	99	32	85	89	92	61	88	94	62	18	77
8	30	61	91	67	53	43	25	105	21	71	95	91
9	100	68	83	83	42	43	32	72	84	109	64	72
10	75	66	47	100	85	61	104	50	108	82	86	85
$H = 0,260$ МПа												
1	82	41	40	84	63	73	68	92	50	71	78	42
2	61	74	68	47	48	37	62	43	82	43	90	37
3	64	61	81	53	42	53	93	72	60	60	86	90
4	77	50	74	39	65	42	60	83	84	62	50	48
5	83	64	66	91	60	71	81	100	73	75	120	55
6	70	61	56	38	73	45	74	56	73	51	53	78
7	67	73	49	40	64	57	68	26	47	54	43	45
8	77	55	31	50	65	90	68	21	62	77	73	66
9	43	69	82	54	76	42	54	52	51	52	60	61
10	61	87	94	91	78	70	93	82	89	62	97	93
11	77	42	85	86	51	74	82	87	91	86	98	61
$H = 0,284$ МПа												
1	44	64	33	38	63	17	27	35	44	24	19	19

2	49	56	25	23	33	22	11	22	51	51	62	37
3	33	28	44	32	49	42	40	29	24	23	31	32
4	43	53	51	55	19	59	39	50	26	52	29	37
5	37	60	41	24	52	72	67	63	63	71	65	61
6	44	51	64	32	47	52	30	22	52	69	55	58
7	33	52	43	67	41	53	60	53	42	29	51	56
8	58	37	71	62	62	52	41	41	49	62	52	64
9	83	82	58	65	55	44	53	32	50	72	73	64
10	59	32	60	54	59	36	37	52	47	41	42	33
11	72	52	71	53	64	62	52	71	63	71	61	54
12	57	66	40	53	67	47	68	61	50	61	65	47
<i>H = 0,331 МПа</i>												
1	42	64	26	43	52	80	49	52	63	63	83	87
2	85	12	84	17	74	75	41	63	78	15	76	35
3	49	86	38	89	37	43	20	34	72	44	33	85
4	62	56	87	17	20	71	16	51	18	38	78	84
5	75	74	11	22	87	86	54	85	64	49	47	79
6	15	45	83	29	82	22	69	74	75	56	75	50
7	33	23	75	72	88	33	59	61	16	69	57	59
8	34	42	59	61	84	39	33	58	16	40	26	79
9	85	51	44	73	51	65	48	21	49	26	23	75
10	12	56	73	63	12	66	75	59	70	33	76	22
11	20	56	74	53	54	53	88	79	88	75	67	88
12	53	72	84	41	61	61	72	77	89	30	44	42
13	24	40	35	31	72	82	74	30	56	54	28	70
<i>H = 0,371 МПа</i>												
1	25	50	63	60	25	82	82	112	45	91	60	39
2	46	121	39	102	113	71	106	101	85	103	28	35
3	41	54	121	48	25	38	77	83	49	91	120	64
4	102	93	18	70	12	44	90	117	19	26	32	86
5	17	63	64	64	50	48	64	13	26	42	48	23
6	115	32	60	19	90	114	102	77	76	16	76	113
7	68	42	102	71	19	62	41	106	58	103	60	48
8	10	51	12	34	56	78	64	76	62	119	24	117
9	15	18	116	115	28	62	65	112	95	59	94	77
10	91	17	112	74	113	21	113	117	35	100	60	88
11	14	36	27	46	69	67	38	51	64	25	22	52
12	38	119	40	88	28	91	55	117	20	86	10	46
13	79	22	106	12	32	67	71	79	19	119	89	86

Объём воды в дождемерах W_i по радиусу R_i , при давлении H_i ,
диаметр сопла 12 мм, высота установки 2 м

R_i , м	W_i , мл											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$H = 0,148$ МПа												
1	140	44	159	28	141	190	154	191	16	142	229	213
2	97	151	98	93	211	118	110	75	34	203	203	238
3	20	210	59	224	161	229	68	165	58	32	65	174
4	222	16	214	62	143	107	194	116	132	208	241	215
5	37	42	31	47	159	140	208	90	44	122	55	93
6	161	195	108	233	45	165	17	38	80	14	246	67
7	28	129	133	179	165	33	61	74	202	108	110	152
$H = 0,205$ МПа												
1	31	225	52	35	56	160	333	201	159	312	338	14
2	322	310	271	268	329	200	290	265	177	51	55	271
3	56	212	83	142	308	286	92	333	141	214	117	161
4	28	81	54	68	236	144	268	166	90	212	72	60
5	285	276	18	332	204	148	83	205	175	216	310	183
6	152	273	210	213	116	295	223	76	29	122	303	223
7	94	70	142	312	321	158	300	215	195	224	136	229
8	19	97	65	121	48	94	62	42	89	61	91	37
9	128	103	11	65	73	73	29	56	61	67	50	116
$H = 0,250$ МПа												
1	72	72	47	75	27	28	105	92	73	95	26	85
2	30	108	69	94	72	56	54	63	109	54	73	11
3	95	36	39	40	13	52	97	76	64	48	31	41
4	29	100	64	81	57	75	61	72	105	82	44	78
5	22	83	31	92	44	69	93	40	82	45	58	86
6	17	87	76	75	69	52	100	62	71	90	99	38
7	28	45	16	84	107	62	42	95	104	55	40	60
8	96	104	30	47	102	72	76	91	95	17	73	44
9	61	23	86	71	44	35	49	47	24	78	87	83
10	38	93	28	61	69	42	93	42	89	51	54	59
11	28	88	42	85	70	100	107	60	83	61	51	76
$H = 0,275$ МПа												
1	68	39	84	85	62	81	28	38	37	31	61	52
2	37	61	94	66	31	30	88	59	58	62	73	70
3	52	59	37	73	13	82	31	61	72	71	87	69
4	17	38	30	41	32	71	63	54	69	71	52	90
5	69	82	41	98	43	51	73	62	90	50	64	64
6	41	33	82	87	71	57	74	63	43	81	81	94
7	38	62	75	82	69	71	51	93	78	95	72	61
8	33	56	76	53	23	95	59	39	45	66	45	69
9	38	83	75	61	73	61	71	54	44	66	64	45
10	47	54	74	74	90	71	82	86	83	94	62	42
11	66	62	23	83	56	78	72	92	62	89	73	90

$H = 0,333 \text{ МПа}$												
1	86	78	115	46	111	74	93	74	73	62	37	58
2	69	59	50	62	94	21	85	63	84	97	95	78
3	54	62	94	115	87	72	74	65	78	95	107	60
4	65	32	81	89	31	93	73	65	63	81	91	73
5	61	109	102	75	113	74	85	113	53	73	82	32
6	105	31	104	93	86	91	95	91	71	65	87	65
7	65	73	71	51	105	93	60	108	79	62	84	74
8	95	84	90	87	90	104	93	42	92	97	63	52
9	37	73	65	67	48	62	87	38	84	84	66	78
10	64	94	72	86	116	62	92	52	110	52	104	94
11	50	40	54	85	69	85	103	94	89	73	74	30
12	56	87	91	92	52	60	80	47	74	65	69	93
$H = 0,366 \text{ МПа}$												
1	38	91	42	97	102	144	60	152	48	28	67	62
2	102	48	17	142	101	129	54	123	162	134	149	78
3	61	122	102	69	85	73	73	112	63	127	149	61
4	76	161	12	90	142	119	79	112	123	39	80	99
5	13	152	26	132	84	73	110	90	71	115	86	63
6	103	102	99	117	71	42	147	136	96	134	146	72
7	98	43	63	133	134	132	144	84	120	92	122	66
8	90	88	60	69	158	73	128	92	144	92	50	97
9	31	88	137	82	61	112	81	94	97	83	60	69
10	53	64	94	53	113	125	62	109	107	63	89	83
11	112	94	85	79	65	156	127	71	97	69	83	29
12	53	66	140	114	111	73	71	63	143	125	97	95
13	92	60	104	80	61	115	65	86	135	141	130	159
$H = 0,403 \text{ МПа}$												
1	26	187	175	118	147	86	219	63	210	92	179	32
2	189	134	195	179	82	91	74	163	115	125	206	114
3	58	198	231	32	165	95	57	144	244	145	37	75
4	195	38	201	18	116	186	69	230	71	89	199	173
5	105	154	164	53	68	182	202	166	243	175	212	154
6	42	200	244	205	28	53	115	152	48	210	223	57
7	223	86	212	235	197	23	53	186	89	31	12	79
8	172	166	102	145	173	185	23	231	163	203	136	227
9	232	153	180	135	216	248	239	15	114	237	18	127
10	198	121	19	228	52	163	214	243	152	151	157	168
11	102	195	186	231	246	131	195	157	99	249	36	36
12	175	220	222	20	31	240	24	165	235	70	236	77
13	221	107	123	163	14	225	204	200	56	185	217	118

Расчет экономической эффективности по вариантам опытов возделывания суданской травы на зеленый корм в 2020 году

Технологическая карта по возделыванию суданской травы на зеленую массу и расчет затрат, без орошения

Вид работ	Ед.	Объем работ	Состав агрегата (марка трактора, с-х машины)	Производительность агрегата, га/ч, т/ч	Затраты , чел-ч/га		Расход топлива, кг/га	Затраты электроэнергии кВт/ч
					механизаторов	других работников		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Основная обработка почвы								
Вспашка на 18-22 см	га	1,0	МТЗ-82 ПЛН-4-35	1,26	0,79	-	31,1	-
Подвоз воды на 1 км	т	0,4	МТЗ-82 МЖТ-6	9,2	0,04	-	0,8	-
Приготовление рабочего раствора гербицида (Раундап 3,0 л/га)	т	0,4	МТЗ-82 МЖТ-6	9,2	0,04	-	0,7	-
Обработка посевов от остатков прошлой культуры и сорняков	га	1	МТЗ-82 ОП-2000	5,3	0,2	-	1,7	-
Всего					1,07	-	34,3	-
Внесение удобрений								
Подготовка удобрений	т	0,42	Вручную	0,329	-	1,95	-	-
Подвоз минеральных удобрений с механической погрузкой, разгрузкой до 10 км (N ₆₀ P ₆₀ K ₁₀₀) аммофос NH ₄ H ₂ PO ₄ (120 кг) аммиачная селитра NH ₄ NO ₃ (130 кг) хлористый калий KCl (165 кг)	т	0,42	МТЗ-82 2ПТС-4	4,3	0,15	-	36	-
Рассев минеральных удобрений	га	1	МТЗ-82 1 РМГ-4Б	2,5	0,40	-	1,04	-
Всего					0,55	1,95	37,04	-
Предпосевная обработка почвы								
Дискование почвы	га	2	МТЗ-82 БДН-3	2,5	0,8	-	7,0	-
Предпосевная обработка (культивация, боронование и прикатывание)	га	1	МТЗ-80 РВК-5,0	2,0	0,5	-	2,05	-
Всего					1,3	-	9,05	-

Продолжение приложения 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Посев								
Погрузка семян и загрузка их в сеялку (норма 12-20 кг/га)	т	0,02	Вручную	0,528	-	0,03	-	-
Транспортировка семян (до 3 км)	т	0,02	ГАЗ-53А	5	-	0,004	0,11	-
Посев культуры беспокровно	га	1	МТЗ-82 СПТ-3,6	3,4	0,29	-	3,0	-
Прикатывание почвы	га	1	МТЗ-82 ЗКВГ-1,4	4,1	0,24	-	3,2	-
Всего					0,53	0,034	6,31	-
Уход за посевом								
Боронование до всходов	га	1	МТЗ-82 ЗБЗТ-1,0 СП-11	5,29	0,19	-	1,4	-
Боронование после всходов	га	1	МТЗ-82 ЗБЗТ-1,0 СП-11	3,64	0,27	-	1,5	-
Подвоз воды 1 км	т	0,4	МТЗ-82 МЖТ-6	9,2	0,04	-	0,8	-
Приготовление рабочего раствора гербицида (прима нормой 0,6 л/га)	т	0,4	МТЗ-82 АПЖ-12	9,2	0,04	-	0,7	-
Обработка посевов против сорняков	га	1	МТЗ-82 ОП-2000	5,3	0,2	-	1,7	-
Всего					0,74	-	6,1	-
Уборка								
Скашивание трав	га	2	МТЗ-82 КРН-2,1А	1,46	1,37	-	3,44	-
Транспортировка зеленой массы к месту ее потребления (до 5 км)	т	44,26	МТЗ-82 ПИМ-2,0	24,0	1,92	-	12,0	-
Всего					3,29	-	15,44	-
Итого					7,48	1,984	108,24	-

Цена диз. топлива принята на 01.07.2020 за 1 литр (ДТ-К-4) 1,80 бел.руб., так как основные работы были сделаны в мае, июне, поэтому цена взята средняя за вегетационный период, 1 бел.руб. = 29,2749 рос.руб.

Затраты на дизель топливо $Z_{\text{диз.топ.}} = 108,24 \cdot 1,80 = 194,83$ бел.руб./га или 5703,63 рос.руб./га

Заработная плата механизаторов составит по формуле = затраты труда чел.-ч/га · среднюю стоимость часа

Затраты на зарплату механизаторов: $Z_{\text{механизаторов}} = 7,48 \cdot 4,37 = 32,69$ бел.руб./га или 956,00 рос.руб./га

Заработная плата операторов, полевых рабочих составит по формуле = затраты труда чел.-ч/га · среднюю стоимость часа

Затраты на зарплату операторов, полевых рабочих: $Z_{\text{операторов, полевых рабочих}} = 1,984 \cdot 4,71 = 9,34 \text{ бел.руб./га}$
или 273,43 рос.руб./га

Эксплуатационные затраты на использование тракторов и с-х машин: (стоимость трактора · (амортизационные отчисления (9,1 %) и ремонт и ТО (27%)) / 100 · производительность · годовую загрузку) · 1,1 (проценты на амортизацию и То от сцепки)

Стоимость трактора взята для нового по Беларуси МТЗ-82: 73191 бел.руб.

Эксплуатационные затраты на использование тракторов и с-х машин

$Z_{\text{экспл.}} = (73191 \cdot (9,1 + 27) / 100 \cdot 130 \cdot 7,48) \cdot 1,1 = 29,89 \text{ бел.руб./га}$ **или 875,03 рос.руб./га**

Итого : 266,75 бел.руб./га или 7809,08 рос.руб./га

Затраты на оборотные средства

Вид материалов	Формы	Ед. измерения	Кол-во на 1 га	Стоимость 1 кг, бел.руб./рос.руб.	Общая стоимость, бел.руб./рос.руб.
1	2	3	4	5	6
Промышленные удобрения	аммофос $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (120 кг)	кг. д.в.	120	1,55/45,38	403,10/11800,71
	аммиачная селитра NH_4NO_3 (130 кг)		130	0,68/19,91	
	хлористый калий KCl (165 кг)		165	0,78/22,83	
Семена	Суданской травы	кг	20	3,9/114,17	78,0/2283,44
Гербициды	Пришанс 0,6л/га	кг	0,6	13,99/409,56	58,28/1706,14
	Раундап 3 л/га		3,0	16,63/486,84	
Всего					539,38/15790,30

Итого общие затраты составили: 806,13 бел.руб./ га. или 23599,38 рос.руб./га

Определение выхода обменной энергии с урожаем

Определяем валовую энергию в 1 кг:

$\text{ВЭ} = 0,098 \cdot 24 + 0,0163 \cdot 40 + 0,2889 \cdot 20 + 0,3641 \cdot 17,5 = 2,352 + 0,652 + 5,778 + 6,372 = 15,154 \text{ МДж/кг}$

Обменную энергию в 1 кг:

$\text{ОЭ} = 0,73 \cdot 15,154 \cdot (1 - (0,29 \cdot 1,05)) = 7,71 \text{ МДж}$

Обменная энергия с 1 га:

$\text{ОЭ}_{\text{га}} = 7,71 \cdot 8512 = 65598 \text{ МДж/га}$

Кормовые единицы с 1 кг:

$\text{Ск.ед.} = 0,008 \cdot \text{ОЭ}^2 = 0,008 \cdot 59,39 = 0,48 \text{ к.ед.}$

Кормовые единицы с 1 га:

Ск.ед.=0,48·8512=4044 к.ед/га

Содержание сухого протеина в 1кг сухого вещества:

Сп.п=(98·0,885)-30=57 г.

Содержание сухого протеина в 1 га:

Сп.п=57·8512=0,48 т

Питательная ценность суданской травы на зеленую массу в 1 кг сухого вещества

Культура	Содержание в 1 кг сухого вещества				
	Сырого протеина, г	Валовой энергии, МДж	Обменной энергии, МДж	Кормовых единиц	Перевариваемого протеина, г
Зеленная масса суданской травы	98	15,15	7,71	0,48	57

Питательная ценность суданской травы на зеленую массу на 1 га

Культура	Содержание в 1 га сухого вещества				
	Сырого протеина, т	Валовой энергии, МДж	Обменной энергии, МДж	Кормовых единиц	Перевариваемого протеина, т
Зеленная масса суданской травы	0,83	128989	65598	4044	0,48

Основные технико-экономические показатели

Урожайность, т/га	44,26
Выход т.к.ед/га	4,04
Цена реализации овса за 1 т. в бел.руб./рос.руб.:	
3 класс	180,83/5293,78
2 класс	225,84/6611,44
фуражный	144,89/4241,64
Стоимость продукции, бел.руб на 1 га. / рос.руб. на 1 га	
3 класс	731,33 / 21406,03
2 класс	913,36 / 26734,05
Фуражный	585,98 / 17151,63
Себестоимость, бел.руб. на 1 га / рос.руб. на 1 га	806,13 / 23599,38
Себестоимость, 1 т. к.ед. бел.руб. / рос.руб.	199,33 / 5834,39
Чистый доход, бел.руб. на 1 га / рос.руб. на 1 га	
3 класс	-74,80 / -2193,35
2 класс	107,23 / 3134,67
фуражный	-220,15 / -6447,75
Рентабельность, %	
3 класс	-9,28
2 класс	13,30
фуражный	-27,31

Технологическая карта по возделыванию суданской травы на зеленую массу и расчет затрат, вариант 70...80 % от НВ

Вид работ	Ед.	Объем работ	Состав агрегата (марка трактора, с-х машины)	Производительность агрегата, га/ч, т/ч	Затраты , чел-ч/га		Расход топлива, кг/га	Затраты электроэнергии кВт/ч
					механизаторов	других работников		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Основная обработка почвы								
Вспашка на 18-22 см	га	1,0	МТЗ-82 ПЛН-4-35	1,26	0,79	-	31,1	-
Подвоз воды на 1 км	т	0,4	МТЗ-82 МЖТ-6	9,2	0,04	-	0,8	-
Приготовление рабочего раствора гербицида (Раундап 3,0 л/га)	т	0,4	МТЗ-82 МЖТ-6	9,2	0,04	-	0,7	-
Обработка посевов от остатков прошлой культуры и сорняков	га	1	МТЗ-82 ОП-2000	5,3	0,2	-	1,7	-
Всего					1,07	-	34,3	-
Внесение удобрений								
Подготовка удобрений	т	0,42	Вручную	0,329	-	1,95	-	-
Подвоз минеральных удобрений с механической погрузкой, разгрузкой до 10 км (N ₆₀ P ₆₀ K ₁₀₀) аммофос NH ₄ H ₂ PO ₄ (120 кг) аммиачная селитра NH ₄ NO ₃ (130 кг) хлористый калий KCl (165 кг)	т	0,42	МТЗ-82 2ПТС-4	4,3	0,15	-	36	-
Рассев минеральных удобрений	га	1	МТЗ-82 1 РМГ-4Б	2,5	0,40	-	1,04	-
Всего					0,55	1,95	37,04	-
Предпосевная обработка почвы								
Дискование почвы	га	2	МТЗ-82 БДН-3	2,5	0,8	-	7,0	-
Предпосевная обработка (культивация, боронование и прикатывание)	га	1	МТЗ-80 РВК-5,0	2,0	0,5	-	2,05	-
Всего					1,3	-	9,05	-
Посев								
Погрузка семян и загрузка их в сеялку (норма 12-20 кг/га)	т	0,02	Вручную	0,528	-	0,03	-	-
Транспортировка семян (до 3 км)	т	0,02	ГАЗ-53А	5	-	0,004	0,11	-

Продолжение приложения 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Посев культуры беспокровно	га	1	МТЗ-82 СПТ-3,6	3,4	0,29	-	3,0	-
Прикатывание почвы	га	1	МТЗ-82 ЗКВГ-1,4	4,1	0,24	-	3,2	-
Всего					0,53	0,034	6,31	-
Уход за посевом								
Боронование до всходов	га	1	МТЗ-82 ЗБЗТ-1,0 СП-11	5,29	0,19	-	1,4	-
Боронование после всходов	га	1	МТЗ-82 ЗБЗТ-1,0 СП-11	3,64	0,27	-	1,5	-
Подвоз воды 1 км	т	0,4	МТЗ-82 МЖТ-6	9,2	0,04	-	0,8	-
Приготовление рабочего раствора гербицида (прима нормой 0,6 л/га)	т	0,4	МТЗ-82 АПЖ-12	9,2	0,04	-	0,7	-
Обработка посевов против сорняков	га	1	МТЗ-82 ОП-2000	5,3	0,2	-	1,7	-
Всего					0,74	-	6,1	-
Уборка								
Скашивание трав	га	2	МТЗ-82 КРН-2,1А	1,46	1,37	-	3,44	-
Транспортировка зеленой массы к месту ее потребления (до 5 км)	т	50,05	МТЗ-82 ПИМ-2,0	24,0	2,41	-	12,0	-
Всего					3,78	-	15,44	-
Итого					7,97	1,984	108,24	

Технологическая карта по возделыванию суданской травы на зеленную массу и расчет затрат на полив ДУ

Вид работ	Ед.	Объем работ	Состав агрегата (марка трактора, с-х машины)	Производительность агрегата, га/ч, т/ч	Затраты, чел-ч/га		Расход топлива, кг/га	Затраты электроэнергии кВт/ч
					механизаторов	других работников		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Поливы								
Полив дождевальной установкой (поливная норма 350 м ³ /га)	га	1	ДУ Bauer Rainstar T-61	0,25		4,0	-	248
Всего					-	4,0		248

Цена 1 кВт/ч на 01.07.2020 для нужд отопления и горячего водоснабжения с присоединенной мощностью оборудования более 5 кВт установлена на уровне Вг 0,1109 бел. руб за 1 кВт.ч в период минимальных нагрузок с 23.00 до 6.00 и Вг 0,2059 бел. руб за 1 кВт.ч в остальное время суток, 1 бел.руб. = 29,2749 рос.руб.

$Z_{\text{электроэнергия}} = 248 \text{ кВт/ч} \cdot 0,2059 \text{ бел.руб/кВт/ч} = 51,06 \text{ бел.руб}$ или 1494,78 рос.руб.

Цена диз. топлива принята на 01.07.2020 за 1 литр (ДТ-К-4) 1,80 бел.руб.

Затраты на дизель топливо $Z_{\text{диз.топ.}} = 108,24 \cdot 1,80 = 194,83 \text{ бел.руб./га}$ или 5703,63 рос.руб./га

Заработная плата механизаторов составит по формуле = затраты труда чел.-ч/га · среднюю стоимость часа

Затраты на зарплату механизаторов: $Z_{\text{механизаторов}} = 7,97 \cdot 4,37 = 34,83 \text{ бел.руб./га}$ или 1019,64 рос.руб./га

Заработная плата операторов, полевых рабочих составит по формуле = затраты труда чел.-ч/га · среднюю стоимость часа

Затраты на зарплату операторов, полевых рабочих: $Z_{\text{операторов, полевых рабочих}} = 1,984 \cdot 4,71 = 9,34 \text{ бел.руб./га}$ или 273,43 рос.руб./га

Эксплуатационные затраты на использование тракторов и с-х машин: (стоимость трактора · (амортизационные отчисления (9,1 %) и ремонт и ТО (27%)) / 100 · производительность · годовую загрузку) · 1,1 (проценты на амортизацию и ТО от сцепки)

Стоимость трактора взята для нового по Беларуси МТЗ-82: 73191 бел.руб.

Эксплуатационные затраты на использование тракторов и с-х машин

$Z_{\text{экспл.}} = (73191 \cdot (9,1 + 27) / 100 \cdot 130 \cdot 7,97) \cdot 1,1 = 28,05 \text{ бел.руб./га}$ или 821,16 рос. руб./га

Итого : 318,11 бел.руб./га или 9312,64 рос.руб./га

Эксплуатационные затраты на использование ДУ $Z_{\text{экспл.}} = (73037 \cdot (10 + 10) / 100 \cdot 650 \cdot 4) = 5,62 \text{ бел.руб./га}$ или 164,52 рос.руб./га

Затраты на оборотные средства

Вид материалов	Формы	Ед. измерения	Кол-во на 1га	Стоимость 1 кг, бел.руб./рос.руб.	Общая стоимость, бел.руб./рос.руб.
1	2	3	4	5	6
Промышленные удобрения	аммофос $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (120 кг)	кг. д.в.	120	1,55/45,38	403,10/11800,71
	аммиачная селитра NH_4NO_3 (130 кг)		130	0,68/19,91	
	хлористый калий KCl (165 кг)		165	0,78/22,83	
Семена	Суданской травы	кг	20	3,9/114,17	78,0/2283,44
Гербициды	Пришанс 0,6л/га	кг	0,6	13,99/409,56	58,28/1706,14
	Раундап 3 л/га		3,0	16,63/486,84	
Всего					539,38/15790,30

Общие затраты составили: 863,11 бел.руб./га или 25267,46 рос.руб./га

Определение выхода обменной энергии с урожаем

Определяем валовую энергию в 1 кг:

$$\text{ВЭ} = 0,112 \cdot 24 + 0,0195 \cdot 40 + 0,3474 \cdot 20 + 0,4056 \cdot 17,5 = 17,51 \text{ МДж/кг}$$

Обменную энергию в 1 кг:

$$\text{ОЭ} = 0,73 \cdot 17,51 \cdot (1 - (0,35 \cdot 1,05)) = 8,12 \text{ МДж}$$

Обменная энергия с 1 га:

$$\text{ОЭ}_{\text{га}} = 8,12 \cdot 10428 = 84692 \text{ МДж/га}$$

Кормовые единицы с 1 кг:

$$\text{Ск.ед.} = 0,008 \cdot \text{ОЭ}^2 = 0,008 \cdot 65,96 = 0,53 \text{ к.ед.}$$

Кормовые единицы с 1 га:

$$\text{Ск.ед.} = 0,53 \cdot 10428 = 5503 \text{ к.ед/га}$$

Содержание сухого протеина в 1кг сухого вещества:

$$\text{Сп.п} = (112 \cdot 0,885) - 30 = 69 \text{ г.}$$

Содержание сухого протеина в 1 га:

$$\text{Сп.п} = 69 \cdot 10428 = 0,72 \text{ т}$$

Питательная ценность суданской травы на зеленую массу в 1 кг сухого вещества

Культура	Содержание в 1 кг сухого вещества				
	Сырого протеина, г	Валовой энергии, МДж	Обменной энергии, МДж	Кормовых единиц	Перевариваемого протеина, г
Зеленная масса суданской травы	112	17,51	8,12	0,53	69

Питательная ценность суданской травы на зеленую массу на 1 га

Культура	Содержание в 1 га сухого вещества				
	Сырого протеина, тон	Валовой энергии, МДж	Обменной энергии, МДж	Кормовых единиц	Перевариваемого протеина, тон
Зеленная масса суданской травы	1,17	182636	84692	5503	0,72

Основные технико-экономические показатели

Урожайность, т/га	50,05
Выход т.к.ед/га	5,50
Цена реализации овса за 1 т. в бел.руб./рос.руб.:	
3 класс	180,83 / 5293,78
2 класс	225,84 / 6611,44
фуражный	144,89 / 4241,64
Стоимость продукции, бел.руб на 1 га. / рос.руб. на 1 га	
3 класс	995,04 / 29124,82
2 класс	1242,71 / 36374,12
Фуражный	747,27 / 21872,59
Себестоимость, бел.руб. на 1 га / рос.руб. на 1 га	863,11 / 25267,46
Себестоимость, 1 т. к.ед. бел.руб. / рос.руб.	156,85 / 4591,00
Чистый доход, бел.руб. на 1 га / рос.руб. на 1 га	
3 класс	131,93 / 24533,82
2 класс	379,60 / 31783,12
фуражный	-65,84 / -17281,59
Рентабельность, %	
3 класс	15,29
2 класс	43,98
фуражный	-7,63

Технологическая карта по возделыванию суданской травы на зеленную массу и расчет затрат, вариант 80...90 % от НВ

Вид работ	Ед.	Объем работ	Состав агрегата (марка трактора, с-х машины)	Производительность агрегата, га/ч, т/ч	Затраты , чел-ч/га		Расход топлива, кг/га	Затраты электроэнергии кВт/ч
					механизаторов	других работников		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Основная обработка почвы								
Вспашка на 18-22 см	га	1,0	МТЗ-82 ПЛН-4-35	1,26	0,79	-	31,1	-
Подвоз воды на 1 км	т	0,4	МТЗ-82 МЖТ-6	9,2	0,04	-	0,8	-
Приготовление рабочего раствора гербицида (Раундап 3,0 л/га)	т	0,4	МТЗ-82 МЖТ-6	9,2	0,04	-	0,7	-
Обработка посевов от остатков прошлой культуры и сорняков	га	1	МТЗ-82 ОП-2000	5,3	0,2	-	1,7	-
Всего					1,07	-	34,3	-
Внесение удобрений								
Подготовка удобрений	т	0,42	Вручную	0,329	-	1,95	-	-
Подвоз минеральных удобрений с механической погрузкой, разгрузкой до 10 км (N ₆₀ P ₆₀ K ₁₀₀) аммофос NH ₄ H ₂ PO ₄ (120 кг) аммиачная селитра NH ₄ NO ₃ (130 кг) хлористый калийKCl (165 кг)	т	0,42	МТЗ-82 2ПТС-4	4,3	0,15	-	36	-
Рассев минеральных удобрений	га	1	МТЗ-82 1 РМГ-4Б	2,5	0,40	-	1,04	-
Всего					0,55	1,95	37,04	-
Предпосевная обработка почвы								
Дискование почвы	га	2	МТЗ-82 БДН-3	2,5	0,8	-	7,0	-
Предпосевная обработка (культивация, боронование и прикатывание)	га	1	МТЗ-80 РВК-5,0	2,0	0,5	-	2,05	-
Всего					1,3	-	9,05	-
Посев								

Продолжение приложения 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Погрузка семян и загрузка их в сеялку (норма 12-20 кг/га)	т	0,02	Вручную	0,528	-	0,03	-	-
Транспортировка семян (до 3 км)	т	0,02	ГАЗ-53А	5	-	0,004	0,11	-
Посев культуры беспокровно	га	1	МТЗ-82 СПТ-3,6	3,4	0,29	-	3,0	-
Прикатывание почвы	га	1	МТЗ-82 ЗКВГ-1,4	4,1	0,24	-	3,2	-
Всего					0,53	0,034	6,31	-
Уход за посевом								
Боронование до всходов	га	1	МТЗ-82 ЗБЗТ-1,0 СП-11	5,29	0,19	-	1,4	-
Боронование после всходов	га	1	МТЗ-82 ЗБЗТ-1,0 СП-11	3,64	0,27	-	1,5	-
Подвоз воды 1 км	т	0,4	МТЗ-82 МЖТ-6	9,2	0,04	-	0,8	-
Приготовление рабочего раствора гербицида (прима нормой 0,6 л/га)	т	0,4	МТЗ-82 АПЖ-12	9,2	0,04	-	0,7	-
Обработка посевов против сорняков	га	1	МТЗ-82 ОП-2000	5,3	0,2	-	1,7	-
Всего					0,74	-	6,1	-
Уборка								
Скашивание трав	га	2	МТЗ-82 КРН-2,1А	1,46	1,37	-	3,44	-
Транспортировка зеленой массы к месту ее потребления (до 5 км)	т	59,27	МТЗ-82 ПИМ-2,0	24,0	2,73	-	12,0	-
Всего					4,10	-	15,44	-
Итого					8,29	1,984	108,24	

Технологическая карта по возделыванию суданской травы на зеленую массу и расчет затрат на полив ДУ

Вид работ	Ед.	Объем работ	Состав агрегата (марка трактора, с-х машины)	Производительность агрегата, га/ч, т/ч	Затраты, чел-ч/га		Расход топлива, кг/га	Затраты электроэнергии кВт/ч
					механизаторов	других работников		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Поливы								
Полив дождевальной установкой (поливная норма 240 м ³ /га)	га	1	ДУ Bauer Rainstar T-61	0,25	-	4,0	-	180
Полив дождевальной установкой (поливная норма 240 м ³ /га)	га	1	ДУ Bauer Rainstar T-61	0,25	-	4,0	-	180
Всего					-	8,0	-	360

Цена 1 кВт/ч на 01.07.2020 для нужд отопления и горячего водоснабжения с присоединенной мощностью оборудования более 5 кВт установлена на уровне Вг 0,1109 бел. руб за 1 кВт.ч в период минимальных нагрузок с 23.00 до 6.00 и Вг 0,2059 бел. руб за 1 кВт.ч в остальное время суток, 1 бел.руб. = 29,2749 рос.руб.

З_{электроэнергию} = 360 кВт/ч · 0,2059 бел.руб/ кВт/ч = 74,12 бел.руб или 2169,86 рос.руб.

Цена диз. топлива принята на 01.07.2020 за 1 литр (ДТ-К-4) 1,80 бел.руб.

Затраты на дизель топливо З_{диз.топ.} = 108,24 · 1,80 = 194,83 бел.руб./га или 5703,63 рос.руб./га

Заработная плата механизаторов составит по формуле = затраты труда чел.-ч/га · среднюю стоимость часа

Затраты на зарплату механизаторов: З_{механизаторов} = 8,29 · 4,37 = 36,23 бел.руб./га или 1060,63 рос.руб./га

Заработная плата операторов, полевых рабочих составит по формуле = затраты труда чел.-ч/га · среднюю стоимость часа

Затраты на зарплату операторов, полевых рабочих: З_{операторов, полевых рабочих} = 1,984 · 4,71 = 9,34 бел.руб./га или 273 рос.руб./га

Эксплуатационные затраты на использование тракторов и с-х машин: (стоимость трактора · (амортизационные отчисления (9,1 %) и ремонт и ТО (27%)) / 100 · производительность · годовую загрузку) · 1,1 (проценты на амортизацию и То от сцепки)

Стоимость трактора взята для нового по Беларуси МТЗ-82: 73191 бел.руб.

Эксплуатационные затраты на использование тракторов и с-х машин

З_{эспл.} = (73191 · (9,1 + 27) / 100 · 130 · 8,29) · 1,1 = 26,97 бел.руб./га или 789,54 рос.руб./га

Итого : 341,49 бел.руб./га или 9997,09 рос.руб./га

Эксплуатационные затраты на использование ДУ З_{эспл.} = (73037 · (10 + 10) / 100 · 650 · 8) = 2,81 бел.руб./га или 82,26 рос.руб./га.

Затраты на оборотные средства

Вид материалов	Формы	Ед. измерения	Кол-во на 1га	Стоимость 1 кг, бел.руб./рос.руб.	Общая стоимость, бел.руб./рос.руб.
1	2	3	4	5	6
Промышленные удобрения	аммофос $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (120 кг)	кг. д..в.	120	1,55/45,38	403,10/11800,71
	аммиачная селитра NH_4NO_3 (130 кг)		130	0,68/19,91	
	хлористый калий KCl (165 кг)		165	0,78/22,83	
Семена	Суданская трава	кг	20	3,9/114,17	78,0/2283,44
Гербициды	Пришанс 0,6л/га	кг	0,6	13,99/409,56	58,28/1706,14
	Раундап 3 л/га		3,0	16,63/486,84	
Всего					539,38/15790,30

Общие затраты составили: 883,68 бел.руб./га или 25869,64 рос.руб./га

Определение выхода обменной энергии с урожаем

Определяем валовую энергию в 1 кг:

$$\text{ВЭ} = 0,124 \cdot 24 + 0,0248 \cdot 40 + 0,3812 \cdot 20 + 0,4674 \cdot 17,5 = 19,77 \text{ МДж/кг}$$

Обменную энергию в 1 кг:

$$\text{ОЭ} = 0,73 \cdot 19,77 \cdot (1 - (0,38 \cdot 1,05)) = 8,66 \text{ МДж}$$

Обменная энергия с 1 га:

$$\text{ОЭ}_{\text{га}} = 8,66 \cdot 11398 = 98663 \text{ МДж/га}$$

Кормовые единицы с 1 кг:

$$\text{Ск.ед.} = 0,008 \cdot \text{ОЭ}^2 = 0,008 \cdot 74,93 = 0,60 \text{ к.ед.}$$

Кормовые единицы с 1 га:

$$\text{Ск.ед.} = 0,60 \cdot 11398 = 6832 \text{ к.ед/га}$$

Содержание сухого протеина в 1кг сухого вещества:

$$\text{Сп.п} = (124 \cdot 0,885) - 30 = 80 \text{ г.}$$

Содержание сухого протеина в 1 га:

$$\text{Сп.п} = 80 \cdot 11398 = 0,91 \text{ т}$$

Питательная ценность суданской травы на зеленую массу в 1 кг сухого вещества

Культура	Содержание в 1 кг сухого вещества				
	Сырого протеина, г	Валовой энергии, МДж	Обменной энергии, МДж	Кормовых единиц	Перевариваемого протеина, г
Зеленная масса суданской травы	124	19,77	8,66	0,60	80

Питательная ценность суданской травы на зеленую массу на 1 га

Культура	Содержание в 1 га сухого вещества				
	Сырого протеина, тон	Валовой энергии, МДж	Обменной энергии, МДж	Кормовых единиц	Перевариваемого протеина, тон
Зеленная масса суданской травы	1,41	225356	98663	6832	0,91

Основные технико-экономические показатели

Урожайность, т/га	59,27
Выход т.к.ед/га	6,83
Цена реализации овса за 1 т. в бел.руб./рос.руб.:	
3 класс	180,83 / 5293,78
2 класс	225,84 / 6611,44
фуражный	144,89 / 4241,64
Стоимость продукции, бел.руб на 1 га. / рос.руб. на 1 га	
3 класс	1235,49 / 36162,79
2 класс	1543,02 / 45164,20
Фуражный	989,94 / 28975,54
Себестоимость, бел.руб. на 1 га / рос.руб. на 1 га	883,68 / 25869,64
Себестоимость, 1 т. к.ед. бел.руб. / рос.руб.	129,34 / 3785,78
Чистый доход, бел.руб. на 1 га / рос.руб. на 1 га	
3 класс	351,81 / 32377,01
2 класс	659,34 / 41378,42
фуражный	106,26 / 25189,76
Рентабельность, %	
3 класс	39,81
2 класс	74,61
фуражный	12,02

Расчет энергетической эффективности по вариантам опытов возделывания суданской травы на зеленый корм в 2020 году

Технологическая карта по возделыванию суданской травы на зеленую массу и расчет энергетических затрат, без орошения

Технологические операции и основные технические требования к их проведению	Ед.	Объем работ	Состав агрегата (двигатель с-х машины, сцепки)	Норм. выроб. за 1 час	Кол-во часов на 1 га	Затраты ГСМ на 1 га		Затраты электроэнергии на 1 га		Затраты труда, МДж	Затраты на механизмы и орудия, МДж/га		Всего, МДж/га
						кг	МДж	кВт/ч	МДж		Тракторы, автомобили	С-х машины, сцепки	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Основная обработка почвы													
Вспашка на 18-22 см	га	1,0	МТЗ-82 ПЛН-4-35	1,26	0,79	31,1	1639	-	-	48	51	82	1820
Подвоз воды на 1 км	т	0,4	МТЗ-82 МЖТ-6	9,2	0,04	0,8	42	-	-	2,5	5	19	68,5
Приготовление рабочего раствора гербицида (Раунадп 3,0 л/га)	т	0,4	МТЗ-82 МЖТ-6	9,2	0,04	0,7	37	-	-	2,5	5	22	66,5
Обработка посевов от остатков прошлой культуры и сорняков	га	1	МТЗ-82 ОП-2000	5,3	0,2	1,7	89	-	-	12	11	28	140
Всего													2095
Внесение удобрений													
Подготовка удобрений	кг	420	Вручную	329	1,95	-	-	-	-	119	-	-	119
Подвоз минеральных удобрений с механической погрузкой, разгрузкой до 10 км (N ₆₀ P ₆₀ K ₁₀₀) аммофос NH ₄ H ₂ PO ₄ (120 кг) аммиачная селитра NH ₄ NO ₃ (130 кг) хлористый калий KCl (165 кг)	т	0,42	МТЗ-82 2ПТС-4	4,3	0,15	36	1904	-	-	9	73	354	2340
Рассев минеральных удобрений	га	1	МТЗ-82 1 РМГ-4Б	2,5	0,40	1,04	55	-	-	24	37	177	293
Всего													2752
Предпосевная обработка почвы													
Дискование почвы	га	2	МТЗ-82 БДН-3	2,5	0,8	7,0	369	-	-	49	26	32	476

Продолжение приложения 18

[illegible]

Затраты на оборотные средства

Вид материалов	Формы	Ед. измерения	Кол-во на 1га	Перевод в энергоёмкость	Совокупная энергоёмкость
1	2	3	4	5	6
Промышленные удобрения	аммофос $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (120 кг)	кг. д.в.	120	51,5	18916
	аммиачная селитра NH_4NO_3 (130 кг)		130	86,8	
	хлористый калий KCl (165 кг)		165	8,8	
Семена	Просо	кг	20	35,5	710
Гербициды	Пришанс 0,6л/га	кг	0,6	342,2	1232
	Раундап 3 л/га		3,0		
Всего					20858

Итого общие затраты энергии составили: 29387 МДж.

Определение выхода обменной энергии с урожаем

Определяем валовую энергию в 1 кг:

$$\text{ВЭ} = 0,098 \cdot 24 + 0,0163 \cdot 40 + 0,2889 \cdot 20 + 0,3641 \cdot 17,5 = 2,352 + 0,652 + 5,778 + 6,372 = 15,154 \text{ МДж/кг}$$

Обменную энергию в 1 кг:

$$\text{ОЭ} = 0,73 \cdot 15,154 \cdot (1 - (0,29 \cdot 1,05)) = 7,71 \text{ МДж}$$

Обменная энергия с 1 га:

$$\text{ОЭ}_{\text{га}} = 7,71 \cdot 8512 = 65598 \text{ МДж/га}$$

Кормовые единицы с 1 кг:

$$\text{Ск.ед.} = 0,008 \cdot \text{ОЭ}^2 = 0,008 \cdot 59,39 = 0,48 \text{ к.ед.}$$

Кормовые единицы с 1 га:

$$\text{Ск.ед.} = 0,48 \cdot 8512 = 4044 \text{ к.ед/га}$$

Содержание сухого протеина в 1кг сухого вещества:

$$\text{Сп.п} = (98 \cdot 0,885) - 30 = 57 \text{ г.}$$

Содержание сухого протеина в 1 га:

$$\text{Сп.п.} = 57 \cdot 8512 = 0,48 \text{ т}$$

Питательная ценность суданской травы на зеленую массу в 1 кг сухого вещества

Культура	Содержание в 1 кг сухого вещества				
	Сырого протеина, г	Валовой энергии, МДж	Обменной энергии, МДж	Кормовых единиц	Перевариваемого протеина, г
Зеленная масса суданской травы	98	15,15	7,71	0,48	57

Питательная ценность суданской травы на зеленую массу на 1 га

Культура	Содержание в 1 га сухого вещества				
	Сырого протеина, т	Валовой энергии, МДж	Обменной энергии, МДж	Кормовых единиц	Перевариваемого протеина, т
Зеленная масса суданской травы	0,83	128989	65598	4044	0,48

Энергетическая эффективность суданской травы при возделывании на зеленую массу

Показатели	Значения
Урожайность, т/га в зеленой массе	44,26
в сухой массе	8,51
Сбор обменной энергии, ГДж/га	65,60
Затраты совокупной энергии, ГДж/га	29,39
Удельные затраты энергии, МДж на 1 ГДж/га ОЭ	448,03
АК (по обменной энергии)	2,23

Технологическая карта по возделыванию суданской травы на зеленую массу и расчет энергетических затрат, вариант 70...80 % от НВ

Технологические операции и основные технические требования к их проведению	Ед.	Объем работ	Состав агрегата (двигатель с-х машины, сцепки)	Норм. выраб. за 1 час	Кол-во часов на 1 га	Затраты ГСМ на 1 га		Затраты электроэнергии на 1 га		Затраты труда, МДж	Затраты на механизмы и орудия, МДж/га		Всего, МДж/га
						кг	МДж	кВт/ч	МДж		Тракторы, автомобили	С-х машины, сцепки	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Основная обработка почвы													
Вспашка на 18-22 см	га	1,0	МТЗ-82 ПЛН-4-35	1,26	0,79	31,1	1639	-	-	48	51	82	1820
Подвоз воды на 1 км	т	0,4	МТЗ-82 МЖТ-6	9,2	0,04	0,8	42	-	-	2,5	5	19	68,5
Приготовление рабочего раствора гербицида (Раундап 3,0 л/га)	т	0,4	МТЗ-82 МЖТ-6	9,2	0,04	0,7	37	-	-	2,5	5	22	66,5
Обработка посевов от остатков прошлой культуры и сорняков	га	1	МТЗ-82 ОП-2000	5,3	0,2	1,7	89	-	-	12	11	28	140
Всего													2095
Внесение удобрений													
Подготовка удобрений	кг	420	Вручную	329	1,95	-	-	-	-	119	-	-	119
Подвоз минеральных удобрений с механической погрузкой, разгрузкой до 10 км (N ₆₀ P ₆₀ K ₁₀₀) аммофос NH ₄ H ₂ PO ₄ (120 кг) аммиачная селитра NH ₄ NO ₃ (130 кг) хлористый калий KCl (165 кг)	т	0,42	МТЗ-82 2ПТС-4	4,3	0,15	36	1904	-	-	9	73	354	2340
Рассев минеральных удобрений	га	1	МТЗ-82 1 РМГ-4Б	2,5	0,40	1,04	55	-	-	24	37	177	293
Всего													2752
Предпосевная обработка почвы													
Дискование почвы	га	2	МТЗ-82 БДН-3	2,5	0,8	7,0	369	-	-	49	26	32	476
Предпосевная обработка (культивация, боронование и прикатывание)	га	1	МТЗ-80 РВК-5,0	2,0	0,5	2,05	108	-	-	30,4	45	356	539
Всего													1015

Продолжение приложения 18

[illegible]

Технологическая карта по возделыванию суданской травы на зеленую массу и расчет энергетических затрат на полив ДУ

Технологические операции и основные технические требования к их проведению	Ед.	Объем работ	Состав агрегата (двигатель с-х машины, сцепки)	Норм. выроб. за 1 час	Кол-во часов на 1 га	Затраты ГСМ на 1 га		Затраты электроэнергии на 1 га		Затраты труда, МДж	Затраты на механизмы и орудия, МДж/га		Всего, МДж/га
						кг	МДж	кВт/ч	МДж		Трактора, автомобили	С-х машины, сцепки	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Поливы													
Полив дождевальной установкой (поливная норма 350 м ³ /га)	га	1	ДУ Bauer Rainstar T-61	0,18	5,5	-	-	248	2976	337	-	121	3434
Всего													3434

Затраты на оборотные средства

Вид материалов	Формы	Ед. измерения	Кол-во на 1га	Перевод в энергоёмкость	Совокупная энергоёмкость
1	2	3	4	5	6
Промышленные удобрения	аммофос NH ₄ H ₂ PO ₄ (120 кг)	кг. д..в.	120	51,5	18916
	аммиачная селитра NH ₄ NO ₃ (130 кг)		130	86,8	
	хлористый калий KCl (165 кг)		165	8,8	
Семена	Суданской травы	кг	20	35,5	710
Гербициды	Пришанс 0,6л/га	кг	0,6	342,2	1232
	Раундап 3 л/га		3,0		
Всего					20858

Итого общие затраты энергии составили: 32902 МДж.

Определение выхода обменной энергии с урожаем

Определяем валовую энергию в 1 кг:

$$ВЭ=0,112 \cdot 24 + 0,0195 \cdot 40 + 0,3474 \cdot 20 + 0,4056 \cdot 17,5 = 17,51 \text{ МДж/кг}$$

Обменную энергию в 1 кг:

$$ОЭ=0,73 \cdot 17,51 \cdot (1 - (0,35 \cdot 1,05)) = 8,12 \text{ МДж}$$

Обменная энергия с 1 га:

$$ОЭ_{га}=8,12 \cdot 10428 = 84692 \text{ МДж/га}$$

Кормовые единицы с 1 кг:

$$\text{Ск.ед.} = 0,008 \cdot \text{ОЭ}^2 = 0,008 \cdot 65,96 = 0,53 \text{ к.ед.}$$

Кормовые единицы с 1 га:

$$\text{Ск.ед.} = 0,53 \cdot 10428 = 5503 \text{ к.ед/га}$$

Содержание сухого протеина в 1кг сухого вещества:

$$\text{Сп.п} = (112 \cdot 0,885) - 30 = 69 \text{ г.}$$

Содержание сухого протеина в 1 га:

$$\text{Сп.п} = 69 \cdot 10428 = 0,72 \text{ т}$$

Питательная ценность суданской травы на зеленую массу в 1 кг сухого вещества

Культура	Содержание в 1 кг сухого вещества				
	Сырого протеина, г	Валовой энергии, МДж	Обменной энергии, МДж	Кормовых единиц	Перевариваемого протеина, г
Зеленная масса суданской травы	112	17,51	8,12	0,53	69

Питательная ценность пайзы на зеленую массу на 1 га

Культура	Содержание в 1 га сухого вещества				
	Сырого протеина, тон	Валовой энергии, МДж	Обменной энергии, МДж	Кормовых единиц	Перевариваемого протеина, тон
Зеленная масса суданской травы	1,17	182636	84692	5503	0,72

Энергетическая эффективность суданской травы при возделывании на зеленую массу

Показатели	Значения
Урожайность, т/га	50,05
в зеленой массе	10,43
в сухой массе	
Сбор обменной энергии, ГДж/га	84,69
Затраты совокупной энергии, ГДж/га	32,9
Удельные затраты энергии, МДж на 1 ГДж/га ОЭ	388,47
АК (по обменной энергии)	2,57

Технологическая карта по возделыванию суданской травы на зеленную массу и расчет энергетических затрат, вариант 80...90 % от НВ

Технологические операции и основные технические требования к их проведению	Ед.	Объем работ	Состав агрегата (двигатель с-х машины, сцепки)	Норм. выроб. за 1 час	Кол-во часов на 1 га	Затраты ГСМ на 1 га		Затраты электроэнергии на 1га		Затраты труда, МДж	Затраты на механизмы и орудия, МДж/га		Всего, МДж/га
						кг	МДж	кВт/ч	МДж		Тракторы, автомобили	С-х машины, сцепки	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Основная обработка почвы													
Вспашка на 18-22 см	га	1,0	МТЗ-82 ПЛН-4-35	1,26	0,79	31,1	1639	-	-	48	51	82	1820
Подвоз воды на 1 км	т	0,4	МТЗ-82 МЖТ-6	9,2	0,04	0,8	42	-	-	2,5	5	19	68,5
Приготовление рабочего раствора гербицида (Раундап 3,0 л/га)	т	0,4	МТЗ-82 МЖТ-6	9,2	0,04	0,7	37	-	-	2,5	5	22	66,5
Обработка посевов от остатков прошлой культуры и сорняков	га	1	МТЗ-82 ОП-2000	5,3	0,2	1,7	89	-	-	12	11	28	140
Всего													2095
Внесение удобрений													
Подготовка удобрений	кг	420	Вручную	329	1,95	-	-	-	-	119	-	-	119
Подвоз минеральных удобрений с механической погрузкой, разгрузкой до 10 км (N ₆₀ P ₆₀ K ₁₀₀) аммофос NH ₄ H ₂ PO ₄ (120 кг) аммиачная селитра NH ₄ NO ₃ (130 кг) хлористый калий KCl (165 кг)	т	0,42	МТЗ-82 2ПТС-4	4,3	0,15	36	1904	-	-	9	73	354	2340
Рассев минеральных удобрений	га	1	МТЗ-82 1 РМГ-4Б	2,5	0,40	1,04	55	-	-	24	37	177	293
Всего													2752
Предпосевная обработка почвы													
Дискование почвы	га	2	МТЗ-82 БДН-3	2,5	0,8	7,0	369	-	-	49	26	32	476
Предпосевная обработка (культивация, боронование и прикатывание)	га	1	МТЗ-80 РВК-5,0	2,0	0,5	2,05	108	-	-	30,4	45	356	539
Всего													1015

Продолжение приложения 18

[illegible]

Продолжение приложения 18

Технологическая карта по возделыванию суданской травы на зеленую массу и расчет энергетических затрат на полив ДУ

Технологические операции и основные технические требования к их проведению	Ед.	Объем работ	Состав агрегата (двигатель с-х машины, сцепки)	Норм. выроб. за 1 час	Кол-во часов на 1 га	Затраты ГСМ на 1 га		Затраты электроэнергии на 1 га		Затраты труда, МДж	Затраты на механизмы и орудия, МДж/га		Всего, МДж/га
						кг	МДж	кВт/ч	МДж		Трактора, автомобили	С-х машины, сцепки	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Поливы													
Полив дождевальной установкой (поливная норма 240 м ³ /га)	га	1	ДУ Bauer Rainstar T-61	0,25	4,0	-	-	180	2160	246	-	88	2494
Полив дождевальной установкой (поливная норма 240 м ³ /га)	га	1	ДУ Bauer Rainstar T-61	0,25	4,0	-	-	180	2160	246	-	88	2494
Всего													4988

Затраты на оборотные средства

Вид материалов	Формы	Ед. измерения	Кол-во на 1 га	Перевод в энергоемкость	Совокупная энергоемкость
1	2	3	4	5	6
Промышленные удобрения	аммофос NH ₄ H ₂ PO ₄ (120 кг)	кг. д.в.	120	51,5	18916
	аммиачная селитра NH ₄ NO ₃ (130 кг)		130	86,8	
	хлористый калий KCl (165 кг)		165	8,8	
Семена	Суданской травы	кг	20	35,5	710
Гербициды	Пришанс 0,6л/га	кг	0,6	342,2	1232
	Раундап 3 л/га		3,0		
Всего					20858

Итого общие затраты энергии составили: 34505 МДж.

Определение выхода обменной энергии с урожаем

Определяем валовую энергию в 1 кг:

$$ВЭ=0,124 \cdot 24 + 0,0248 \cdot 40 + 0,3812 \cdot 20 + 0,4674 \cdot 17,5 = 19,77 \text{ МДж/кг}$$

Обменную энергию в 1 кг:

$$ОЭ=0,73 \cdot 19,77 \cdot (1 - (0,38 \cdot 1,05)) = 8,66 \text{ МДж}$$

Обменная энергия с 1 га:

$$ОЭ_{га}=8,66 \cdot 11398 = 98663 \text{ МДж/га}$$

Кормовые единицы с 1 кг:

$$\text{Ск.ед.} = 0,008 \cdot \text{ОЭ}^2 = 0,008 \cdot 74,93 = 0,60 \text{ к.ед.}$$

Кормовые единицы с 1 га:

$$\text{Ск.ед.} = 0,60 \cdot 11398 = 6832 \text{ к.ед/га}$$

Содержание сухого протеина в 1кг сухого вещества:

$$\text{Сп.п} = (124 \cdot 0,885) - 30 = 80 \text{ г.}$$

Содержание сухого протеина в 1 га:

$$\text{Сп.п} = 80 \cdot 11398 = 0,91 \text{ т}$$

Питательная ценность суданской травы на зеленую массу в 1 кг сухого вещества

Культура	Содержание в 1 кг сухого вещества				
	Сырого протеина, г	Валовой энергии, МДж	Обменной энергии, МДж	Кормовых единиц	Перевариваемого протеина, г
Зеленная масса суданской травы	124	19,77	8,66	0,60	80

Питательная ценность суданской травы на зеленую массу на 1 га

Культура	Содержание в 1 га сухого вещества				
	Сырого протеина, тон	Валовой энергии, МДж	Обменной энергии, МДж	Кормовых единиц	Перевариваемого протеина, тон
Зеленная масса суданской травы	1,41	225356	98663	6832	0,91

Энергетическая эффективность суданской травы при возделывании на зеленую массу

Показатели	Значения
Урожайность, т/га	
в зеленой массе	59,27
в сухой массе	11,40
Сбор обменной энергии, ГДж/га	98,66
Затраты совокупной энергии, ГДж/га	34,51
Удельные затраты энергии, МДж на 1 ГДж/га ОЭ	349,78
АК (по обменной энергии)	2,86