

На правах рукописи

Куприянов Алексей Николаевич

**РАЗРАБОТКА АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ ПИТАНИЯ КУКУРУЗЫ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖИДКИХ УДОБРЕНИЙ ДЛЯ РАЗНЫХ
АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП ЗЕМЕЛЬ ЗАПАДНОГО
ПРЕДКАВКАЗЬЯ**

Специальность: 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин
растений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Москва – 2025

Работа выполнена на кафедре почвоведения, геологии и ландшафтоведения ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Научный руководитель: **Ефимов Олег Евгеньевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Официальные оппоненты: **Аканова Наталья Ивановна**, доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией агрохимии органических, известковых удобрений и химической мелиорации ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

Полякова Надежда Васильевна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры Почвоведение и природообустройство ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет имени Л.Я. Флорентьева»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В.В. Докучаева» (ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»)

Защита состоится 10 сентября 2025 г. в 16 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета 35.2.030.05 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел: 8 (499) 976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета www.timacad.ru.

Автореферат разослан « ___ » _____ 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук, доцент



И.М. Митюшев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Современные вызовы, стоящие перед сельским хозяйством, требуют инновационных подходов к управлению природными ресурсами и увеличению продуктивности агроландшафтов, путем разработки подходов к рациональному повышению уровня интенсификации агротехнологий в системе земледелия. Снижение плодородия почв, изменение климата, деградация земель, требуют комплексного подхода к решению данных проблем. В этой связи особую актуальность приобретают исследования, направленные на изучение агроэкологической оценки земель, разработку адаптивных систем земледелия и применение цифровых технологий для мониторинга и управления земельными ресурсами (Кирюшин 2005, 2011; Коробка, Орленко, Алексеенко и др., 2015; Муха, Картамышев, 1994).

Особое внимание необходимо уделять агроэкологической оценке земель, которая позволяет выявить производственный потенциал и лимитирующие факторы. В этой связи исследование эффективности удобрений должно учитывать агроэкологические особенности почв, рельеф, степень развития деградационных процессов и агрохимические показатели (Кирюшин, 2024; Прохоров, Борисов, Ефимов и др., 2024).

В последние годы жидкие комплексные удобрения (ЖКУ) привлекают всё больше внимания как перспективное средство повышения урожайности и улучшения качества продукции (Янишевский, 1978; Тишков, Ерёмин, 2020, Шеуджен, 2006). Разработка научно обоснованных рекомендаций по их применению в адаптивно-ландшафтных системах земледелия позволит не только повысить урожайность и качество зерна, но и рационально использовать ресурсный потенциал почв.

Степень разработанности темы. Вопрос агроэкологической оценки земель занимает ключевое место в современных исследованиях, связанных с рациональным землепользованием и устойчивым развитием сельского хозяйства. Важность агроэкологической оценки земель и адаптивного подхода к земледелию неоднократно подчеркивали множество авторов (Кирюшин 2005, 2011, 2024; Коробка, Орленко, Алексеенко и др., 2015; Борин, Лошина, 2020; Черкасов, 2005; Altieri, 2011; Dugu, 2015). Особое внимание уделяется применению адаптивных методов оценки, которые позволяют учитывать особенности почвенных и климатических условий. Во многих исследованиях подчеркивается необходимость сочетания агроэкологических и агрохимических данных для разработки технологий питания, адаптированных к различным группам земель (Кирюшин, 2015, 2020; Кочагина, Тугуз, 2013; Беленков, Матюк, Мазиров, 2013; Карманов, 2012).

Одним из перспективных направлений в системах питания является применение жидких комплексных удобрений (ЖКУ), которые обеспечивают высокую доступность элементов питания для растений и равномерное распределение в почвенном профиле (Янишевский, 1977; Тишков, Ерёмин,

2020; Назаренко, Субботина, 2017; Slack, 1955; Weeks, Hettiarachchi, 2019). Однако, в работах отмечается недостаточная изученность влияния ЖКУ на урожайность и качество продукции на разных агроэкологических группах земель.

Таким образом, изучение эффективности применения жидких удобрений ЛиквиФорс (марок NPK 7:23:7 и NS 8:9) и разработка адаптивных систем питания кукурузы, с учетом агроэкологической оценки земель, представляет собой актуальное научное исследование.

Цель исследования: изучить эффективность жидких удобрений на разных агроэкологических группах земель и разработать систему питания кукурузы на зерно в условиях Западного Предкавказья.

В соответствии с поставленной целью решали следующие задачи:

1. Выделить основные агроэкологические группы земель на основе почвенно-ландшафтного картографирования и геоинформационных систем.
2. Изучить влияние различных систем питания на урожайность и качество зерна кукурузы на разных агроэкологических группах земель.
3. Разработать математическую модель, описывающую вклад агроэкологических факторов в формирование урожайности зерна кукурузы.
4. Рассчитать экономическую эффективность систем питания кукурузы на разных агроэкологических группах земель.

Научная новизна. Выполнена комплексная агроэкологическая оценка земель, включающая построение моделей на основе данных дистанционного зондирования и почвенно-ландшафтного картографирования. Проанализированы многовременные индексы вегетации (NDVI, AOLNDVI), выявлена высокая степень корреляции изучаемых индексов со структурой почвенного покрова, в условиях Западного Предкавказья.

Впервые, в условиях Западного Предкавказья, установлено, что разработанная система питания, с комбинированным применением жидких удобрений (ЖУ) ЛиквиФорс и междурядной подкормкой (марки NPK 7:23:7 и NS 8:9), на разных агроэкологических группах земель, обеспечивает максимальную прибавку урожайности зерна кукурузы: до 80,1 ц/га на плакорных землях, 67,5 ц/га на эрозионных и 72,3 ц/га на переувлажненных землях. Установлено, что применение ЖУ ЛиквиФорс, совместно с подкормкой, достоверно увеличивало содержание азота в зерне кукурузы на всех группах земель: плакорные – 1,51 %, эрозионные – 1,43 % и переувлажненные – 1,53 %.

Разработана математическая модель, количественно оценивающая влияние ключевых агроэкологических и агротехнических факторов (уклон местности, количество осадков, дозы азотных и фосфорных удобрений) на урожайность кукурузы. Модель обладает высокой объясняющей способностью ($R^2 = 0,791$) и позволяет оценивать вклад каждого из исследуемых факторов в формирование урожайности.

Теоретическая и практическая значимость результатов проведенных исследований. Получены новые научные данные о влиянии

жидких удобрений ЛиквиФорс марки NPK 7:23:7 и NS 8:9 на продуктивность кукурузы на разных агроэкологических группах земель. Впервые проведена интеграция методов агроэкологической оценки земель с разработкой адаптивных систем питания кукурузы с использованием жидких удобрений ЛиквиФорс. Полученные данные дополняют теоретические основы применения жидких удобрений, уточняют их влияние на урожайность и качество зерна кукурузы, а также раскрывают особенности их действия на разных агроэкологических группах земель Западного Предкавказья. Результаты исследований могут быть использованы в учебном процессе при изучении дисциплин, связанных с агропочвоведением и агрохимией.

Практическая значимость работы определяется возможностью дифференцированного внедрения в производство разработанных систем питания кукурузы на разных группах земель, что способствует повышению урожайности зерна кукурузы и улучшения ее качества. Разработанные подходы позволяют повысить экономическую эффективность производства. Полученные рекомендации могут быть использованы сельскохозяйственными предприятиями при разработке системы питания кукурузы.

Методология и методы диссертационного исследования. Исследования проводились в условиях полевого производственного опыта в Новокубанском и Отрадненском районах Краснодарского края в течении 3-х лет (2021-2023 гг.). Изучаемые жидкие удобрения ЛиквиФорс марки NPK 7:23:7 и NS 8:9 входят в «Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов», разрешенных к применению на территории Российской Федерации (Свидетельство о Государственной регистрации № 800-10-3590-1 и № 800-15-3589-1, соответственно). Полевые и лабораторные методы исследований проведены в соответствии со стандартными методиками и ГОСТ. Более подробное описание представлено в главе «Условия, объекты и методы исследований».

Положения, выносимые на защиту:

1. Геоинформационные технологии в сочетании с почвенно-ландшафтным картографированием дают возможность учитывать различия в продуктивности агроландшафтов и обоснованно выделять агроэкологические группы земель.

2. Системы питания с использованием ЖУ ЛиквиФорс марки NPK 7:23:7, NS 8:9 и КАС-32, увеличивают урожайность и положительно влияют на качество зерна кукурузы на всех агроэкологических группах земель.

3. Математическая модель описывает вклад основных и фоновых факторов в формирование урожайности зерна кукурузы в условиях Западного Предкавказья.

4. Экономическая эффективность систем питания кукурузы зависит от агроэкологической группы земель.

Степень достоверности и апробация результатов. Результаты и выводы работы обоснованы и подтверждены статистической обработкой экспериментальных данных в программах Microsoft Excel 2019 и STATISTICA

8.0. Основные результаты работы доложены на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Агрометеорология XXI века» (Москва, 19 декабря 2023 года), Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященная 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева (Москва, 05-07 июня 2023 года) и Всероссийской молодежной научной конференции с международным участием IX Вильямсовские чтения (Москва, 27-28 ноября 2024 года).

По материалам диссертации опубликовано 6 печатных работ, в том числе 3 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы.

Диссертация изложена на 184 страницах компьютерного текста, состоит из введения, обзора литературы (глава 1), описания условий, объектов и методов исследования (глава 2), результатов исследования (глава 3), заключения, предложения производству, приложений (10). Включает 19 таблиц и 42 рисунка. Библиографический список состоит из 265 наименований, в том числе 160 иностранных.

Личный вклад соискателя.

Диссертационное исследование выполнено автором в процессе обучения в аспирантуре и работе в компании ООО «ЛиквиФорс» в период с 2021 по 2023 гг. Планирование и разработка программы производственных опытов выполнены совместно с руководством компании ООО «ЛиквиФорс». Автор принимал личное участие в проведении агроэкологического анализа территории, почвенно-ландшафтного картографирования, закладке производственного опыта, проведению части сопутствующих наблюдений, анализе и обобщению результатов исследований, представленных в диссертации.

Благодарности.

Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю, и.о. заведующего кафедрой почвоведения, геологии и ландшафтоведения ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, к.с.-х.-н, доценту Ефимову Олегу Евгеньевичу за ценные рекомендации, профессиональное руководство и всестороннюю поддержку на всех этапах выполнения диссертационного исследования.

Особая благодарность компании ООО «ЛиквиФорс» и всем её сотрудникам, за время работы в которой, был получен уникальный опыт и знания, легшие в основу этой работы. Отдельно хочу поблагодарить Директора компании Кирюшина Сергея Валерьевича за бесценные советы, поддержку, практическую помощь и доверие, а также предоставленную возможность проводить исследования.

Автор выражает благодарность и.о. директора института Агробиотехнологии, д.с.-х.н. А.В. Шитиковой, и.о. заведующего кафедрой агрономической, биологической химии и радиологии, д.с.-х.н., профессору Налиухину А.Н., д.б.н., профессору Серегиной И.И., д.б.н., профессору Мазирову М.А., д.с.-х.н., профессору Савоськиной О.А. за бесценную помощь,

научные консультации и всестороннее содействие, а также своей семье, родным и друзьям за поддержку, понимание и веру в период выполнения диссертационной работы.

Глава 1. Обзор литературы

В первой главе проведен обзор современных представлений об оценке земель, подходов к проектированию агроландшафтов и разработке агротехнологий. Описаны зональные особенности факторов ограничивающих продуктивность агроландшафтов и проведен обзор агроландшафтных аспектов разработки систем удобрений и применения ЖКУ в адаптивных системах земледелия.

Глава 2. Условия, объекты и методы исследований

Исследования проводились в условиях полевого производственного опыта в Новокубанском и Отрадненском районах Краснодарского края в течении 3-х лет (2021-2023 гг.). На рисунке 1 представлено пространственное распределение исследуемых в работе участков. Каждая группа участков относится к определенной агроэкологической группе земель и имеет свои особенности и лимитирующие факторы.

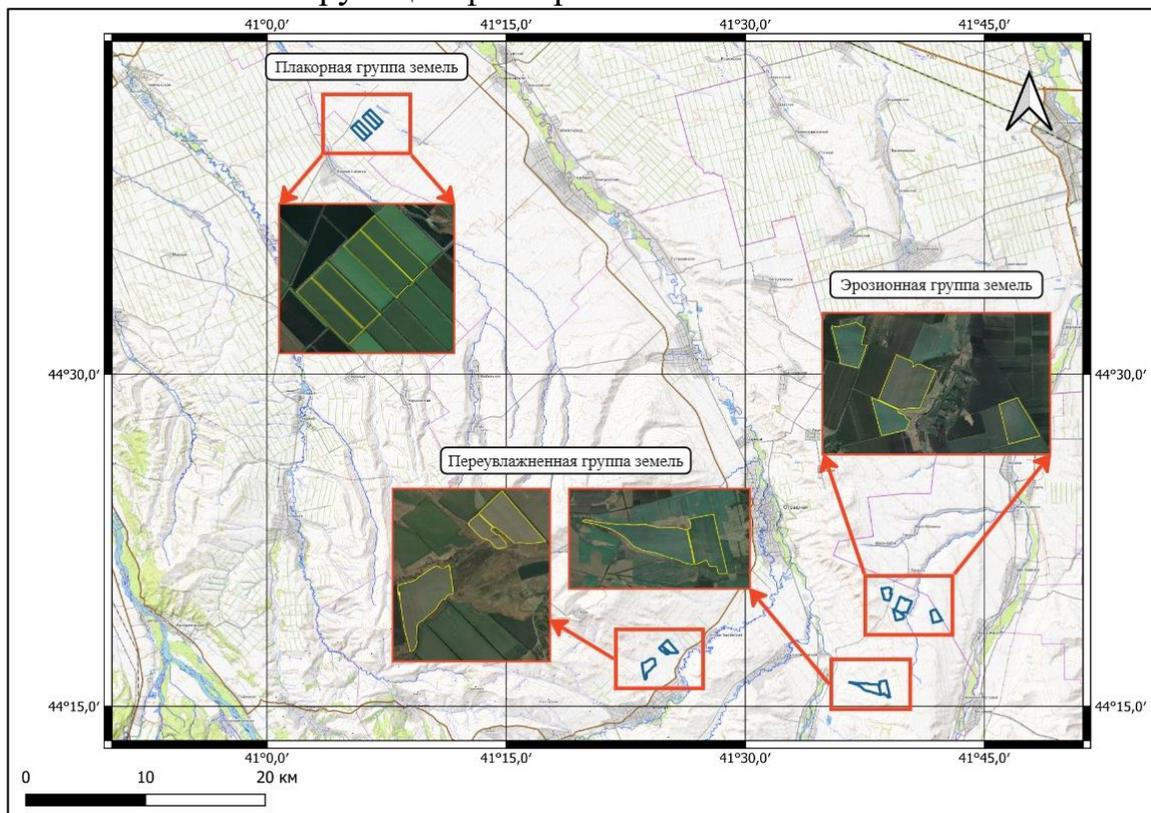


Рисунок 1 – Пространственное распределение изучаемых участков

2.1 Агроэкологические условия территории проведения исследований

Климат один из главнейших факторов влияющих на продуктивность возделываемых культур, его основные показатели, такие как температурный режим и осадки напрямую влияют на формирование урожая. В исследовании проведен анализ климатических условий за последние 30 лет и в годы проведения исследований.

Среднегодовая температура составляет 11,5 °С, максимальная среднемесячная температура отмечается в июле (23,4 °С), минимальная в январе (-1,4 °С). Продолжительность вегетационного периода составляет в среднем 200 дней, по датам перехода температур через 10°С и 248 дней по датам перехода температур через 5°С. Сумма активных температур ($\sum t > 10^\circ\text{C}$) на территории проведения исследований составляет 3718 °С. Суммы активных температур выше 10 °С за 2021-2023 гг. составляют: 3718, 3800 и 3875 °С, соответственно.

Среднее количество осадков, выпадающих за календарный год, составляет 655 мм, за период апрель-октябрь – 457 мм. Годовая сумма осадков за период с 2021 по 2023 гг. составила: 1058, 609 и 758 мм, за период апрель-октябрь – 743, 435 и 389 мм, соответственно.

Краснодарский край расположен на равнинах Западного Предкавказья, занимающих примерно 70 % территории края, оставшаяся часть приходится на горы Западного Кавказа. Основная часть Новокубанского района относится к равнинной территории, что характерно для южных частей Восточно-Европейской равнины. Отраденский район представляет собой разнообразный рельеф, который определяется его географическим положением на стыке предгорий Кавказа и равнинных частей Кубано-Приазовской низменности.

Почвенный покров Краснодарского края отличается значительным разнообразием, обусловленным географическим положением, климатом, рельефом и особенностями растительности региона. Черноземы являются самым распространенным типом почв и занимают около 60 % территории края. Распространены преимущественно на равнинных ландшафтах в центральных и северных районах края. Зональным типом почв на территории проведения исследований является чернозем типичный.

2.2 Объекты исследования

Объектом исследования является среднеспелый гибрид кукурузы ДКС 4964 (ФАО 370), включен в Госреестр по Северо-Кавказскому региону на зерно, районирован в Краснодарском крае в 2010 году.

Исследуемые факторы:

1. Удобрение жидкое ЛиквиФорс марки: NPK 7:23:7; удобрение жидкое ЛиквиФорс марки: NS 8:9; КАС-32 (карбамидно-аммиачная смесь).

Удобрение жидкое ЛиквиФорс марки: NPK 7:23:7 и NS 8:9 разработаны компанией ООО «ДЖИЭСЭМ КЕМИКЛ», входят в «Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов», разрешенных к применению на территории Российской Федерации (Свидетельство о Государственной регистрации № 800-10-3590-1 и № 800-15-3589-1, соответственно).

В состав жидкого удобрения ЛиквиФорс марки NPK 7:23:7 входит:

- N – 7 % в аммонийной форме;
- P₂O₅ – 23 % в ортофосфорной форме;
- K₂O – 7 % калия в форме карбоната калия.

Производится и поставляется в жидкой форме с плотностью около 1,3 кг/л. Позиционируется в качестве комплексного стартового удобрения в жидкой форме, для внесения в почву совместно с посевом.

Жидкое удобрение ЛиквиФорс марки NS 8:9 представляет собой раствор сульфата аммония, с плотностью, примерно, 1,1 кг/л.

В состав входит:

- N – 8 % в аммонийной форме;
- S – 9 % в сульфатной форме.

КАС-32 (карбамидно-аммиачная смесь) – жидкое азотное удобрение, представляющее собой смесь водных растворов карбамида и аммонийной селитры с плотностью до 1,34 кг/л. Содержит в своем составе 32 % азота (N), из них 16 % амидного азота (NH_2^-) и по 8 % нитратного (NO_3^-) и аммонийного (NH_4^+) азота.

2. Агроэкологические группы земель: плакорные, эрозионные и переувлажненные земли.

Плакорные земли — дренированные равнины с преобладающими автоморфными почвами. Располагаются на равнинном участке в средней части длинного водораздельного склона с углом наклона менее 1° . Структура почвенного покрова, представлена комбинацией черноземов типичных среднетяжелых и мощных слабогумусированных тяжелосуглинистых на лессовидных тяжелых суглинках (Агрочерноземы миграционно-сегрегационные среднетяжелые и мощные среднетяжелые среднегумусированные – по Классификации и диагностике почв России, 2004 г.). Мощность гумусового горизонта варьирует в диапазоне 70-90 см.

Эрозионные земли — на территории исследования расположены преимущественно на холодных выпуклых склонах $2-3^\circ$ и $3-5^\circ$. Структура почвенного покрова представлена вариациями черноземов типичных среднетяжелых слабогумусированных разной степени эродированности (от не смытых до среднесмытых) тяжелосуглинистых на лессовидных тяжелых суглинках (Агрочерноземы миграционно-сегрегационные среднетяжелые слабо- и среднесмытые среднетяжелые мало гумусированные). Степень эродированности определяли на основе почвенно-ландшафтного картографирования по классификации и диагностики почв СССР 1977 г. Гумусовый горизонт слабосмытых почв находится в районе 55-60 см, среднесмытых почв – 45-50 см (подробное морфологическое описание почв представлено в диссертации).

Переувлажненные земли — характеризуются избыточным содержанием влаги в почве в течение длительных периодов времени. Расположены в нижней части склона водораздела, в низинных участках, блюдцеобразных понижениях и западинах, что обуславливает дополнительный приток поверхностного увлажнения. Структура почвенного покрова представлена пятнистостями луговато-черноземных мощных и среднетяжелых малогумусных тяжелосуглинистых на лессовидных тяжелых суглинках (Агрочерноземы гидрометаморфизованные среднетяжелые и мощные

среднепахотные (средне гумусированные) и черноземов типичных среднемошных и мощных тяжелосуглинистых на лессовидных тяжелых суглинках.

Таблица 1 – Агрохимическая характеристика почв (в среднем за 2021-2023 гг.)

Показатели	Агроэкологическая группа земель		
	Плакорные	Эрозионные	Переувлажненные
Гумус, %	3,4	2,6	4,0
pH (вод)	6,8	6,7	6,9
P ₂ O ₅ , мг/кг* (класс почвы)	101 (IV)	97 (III)	100 (III)
K ₂ O, мг/кг* (класс почвы)	205 (VI)	195 (VI)	197 (VI)
S, мг-экв/100 г	35	33	32
N _{цг} , мг/кг	185	160	206
Физ. глина (менее 0,01 мм), %	54	54	52

*Примечание – обеспеченность почв фосфором и калием по Чирикову

2.3 Методы проведения исследования

Агротехнические мероприятия по подготовке почвы включали в себя: основную обработку и предпосевную. Основная обработка почвы проводилась осенью предыдущего года и включала в себя лущение стерни на глубину 6-8 см, затем зяблевую вспашку на глубину 25-27 см и культивацию на 10-12 см. Предпосевная обработка почвы – культивация на глубину 6-8 см.

Посев проводился сеялками Mater Масс 12*70 см и шириной захвата 8,4 м. Внесение жидких комплексных удобрений осуществлялось с использованием оборудования, разработанного компанией ООО «АПАРЕК» (растениепитатель), позволяющего вносить ЖКУ совместно с посевом и в междурядье. Уборка урожая проводилась при полном созревании кукурузы и влажности зерна 14-17 % сплошным методом (прямое комбайнирование).

Предшественником в первый год на всех участках была озимая пшеница, затем кукуруза в течении 3-х лет исследования. Норма высева кукурузы 70 тыс. шт /га, междурядье 70 см.

Опыт закладывали в производственных условиях, согласно принятым в агрохимии и растениеводстве методикам. Схема опыта включала два фактора: агроэкологическая группа земель (фактор А) и система питания (фактор Б).

Фактор А – агроэкологические группы земель:

1. Плакорные земли.
2. Эрозионные земли.
3. Переувлажненные земли.

Фактор Б - система питания (на каждой агроэкологической группе земель):

1. Фон – Аммофос – N₁₂P₅₂ кг д.в./га.

На фоновых участках вносили аммофос (NP 12:52) в дозе 100 кг/га осенью под вспашку. Посев проводили без внесения минеральных удобрений.

2. Фон + Naа – N₁₂P₅₂ + N₅₁ кг д.в./га.

На участках со схемой питания хозяйства, в качестве основного удобрения, вносили 100 кг/га аммофоса осенью под вспашку. При посеве вносили 150 кг/га аммонийной селитры.

3. Фон + ЖУ ЛиквиФорс марка NPK 7:23:7 – $N_{12}P_{52} + N_7P_{23}K_7$ кг д.в./га.

В качестве основного удобрения, вносили 100 кг/га аммофоса осенью под вспашку. Припосевное внесение в рядок NPK 7:23:7 – 75 л/га или эквивалент 100 кг/га (рабочий раствор с учетом воды 150 л/га).

4. Фон + ЖУ ЛиквиФорс марка NPK 7:23:7 + смесь (КАС-32 + ЖУ ЛиквиФорс марка NS 8:9) – $N_{12}P_{52} + N_7P_{23}K_7 + N_{45}S_6$ кг д.в./га.

Осенью под вспашку внесение 100 кг/га аммофоса, припосевное внесение в рядок NPK 7:23:7 – 75 л/га, подкормка по вегетации в фазу 3-5 листьев, совместно с междурядной обработкой смесь КАС-32 и NS 8:9 – 100 л + 75 л/га или эквивалент 130 кг + 82,5 кг/га (рабочий раствор с учетом воды 350 л/га).

Описанные 4 варианта систем питания, были заложены на трех группах земель: плакорные, эрозионные и переувлажненные. Всего в опыте 12 вариантов в 4-х кратной повторности.

Учетная площадь каждого варианта составляет 15 га (без учета обсева и защитных полос). Границы каждого варианта отбивались по координатам с помощью GPS. Каждый вариант опыта и повторности находились на одном месте в течении 3-х лет исследования.

В соответствии с задачами и вопросами, поставленными в диссертации, при проведении опыта были проведены соответствующие наблюдения, анализы и учет:

1. Определение агрохимических свойств почвы: отбор почвенных проб проводили согласно ГОСТ 28168 – 89; определение pH (вод) – потенциометрически по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85); определение содержания органического углерода по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91); определение щелочногидролизуемого азота по А.Х. Корнфилду; определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204-91); определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена-Гильковица (ГОСТ 27821-2020); определение гранулометрического состава пипеточным методом (ГОСТ 12536-2014).

2. Оценка агроэкологических условий проводилась по методике В.И. Кирюшина «Методическое руководство по агроэкологической оценке земель, проектированию адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий».

3. Описание геоморфологических условий с использованием космических снимков (10 м/пикс), снимков рельефа: SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) с пространственным разрешением 30м/пикс и Alos Palsar – 12,5 м/пикс. Анализ данных проводился в геоинформационных системах QGIS 3.16.7 и SAGA 8.3.0.

4. Структура почвенного покрова. Почвенно-ландшафтное картографирование проводилось по методике «Агроэкологической оценки земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий» (2005 г.) и картографии почв с использованием космических снимков и моделей рельефа.

5. Учет урожайности проводился сплошным методом с помощью комбайна. Урожай зерна пересчитывали на 14 % влажность. Влажность зерна определяли экспресс-влажномером «Wile 65».

7. Определение содержания массовой доли сырого протеина проводили согласно ГОСТ 13496.4. Определение содержания массовой доли сырого жира – ГОСТ 13496.15-2016. Определение содержание массовой доли сырой клетчатки – ГОСТ 31675-2012. Определение массовой доли азота – ГОСТ 13496.4-2019. Определение массовой доли фосфора – ГОСТ 26657-97. Определение массовой доли калия – ГОСТ 30504-97.

8. Статистическую обработку данных проводили методом двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями по Доспехову Б.А. с помощью пакета анализа Microsoft Excel 2019 и программы STATISTICA 8.0.

Глава 3. Результаты исследования

3.1 Агроэкологическая оценка земель

Для проведения исследования были выбраны 3 группы участков, относящиеся к различным элементам рельефа: группа 1 – равнинная часть водораздела; группа 2 – участки, расположенные на склонах водораздела; группа 3 – нижние части склонов водоразделов.

В ГИС на основе данных SRTM были построены модели: цифровая модель рельефа (ЦМР), модель крутизны склонов, модель экспозиции склонов, топографический индекс влажности (TWI) и модель LS-Factor.

Таблица 2 – Общая характеристика исследуемых участков

Группа участков	Цифровая модель рельефа (ЦМР)	Крутизна склонов	Экспозиция склонов	Топографический индекс влажности (TWI)	LS-Factor
1	Средняя часть длинного водораздельного склона	> 1°	Без экспозиции	Слабый приток и аккумуляция влаги на полях	Минимальный риск развития эрозии
2	Средняя и нижняя часть склона водораздела	2-3°	Холодная	Недостаточная увлажненность в следствии усиления поверхностного стока	Риск развития эрозии
		3-5°			Сильное развитие эрозии
3	Нижняя часть склона водораздела	1-2°	Поля 3-1, 3-2, 3-3 – теплая; поле 3-4 – холодная	Потенциальное накопление влаги и избыточная увлажненность	Минимальный риск развития эрозии

Первая группа земель расположена на равнинном участке в средней части длинного водораздельного склона и представляет собой плоскую субгоризонтальную поверхность с углом наклона менее 1°. Участки второй группы относятся к средней и нижней части склона водораздела, уходящего в долину со средней крутизной 2-3° (до 5°). Третья группа полей расположена в нижней части вогнутого склона водораздела с уклоном 1-2°. Рельеф ровный, с развитым микрорельефом, в связи с чем поступающая с водораздела влага накапливается на полях.

По итогам проведенного почвенно-ландшафтного картографирования была составлена карта структур почвенного покрова и дана характеристика агроэкологических видов земель.

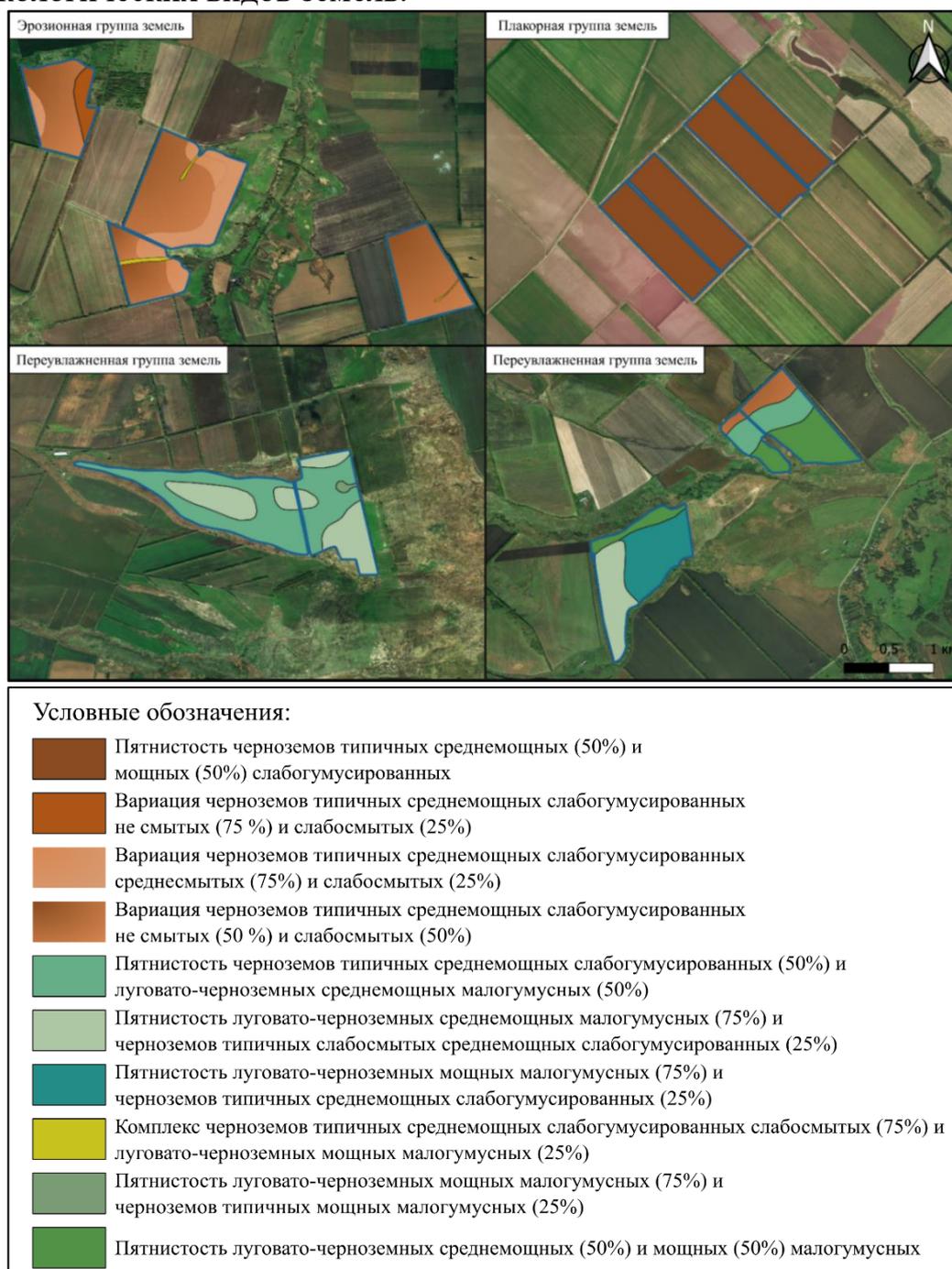


Рисунок 2 – Карта структур почвенного покрова

На основании ландшафтно-экологического анализа территории и почвенно-ландшафтного обследования с учетом агроэкологической группировки земель, выделено 3 заметно отличающиеся по условиям группы:

- плакорные земли – равнинная часть водораздела;
- эрозионные земли – расположенные на склонах 2-3 градуса;
- переувлажненные земли – расположенные в нижней части склона.

В исследовании использованы космические снимки за период с 2015 по 2023 годы (апрель-ноябрь), исключая сезоны с озимыми культурами, для формирования временных рядов индекса NDVI. На основе массива данных были составлены многовременные индексы NDVI и AOLNDVI, которые позволяют детектировать зоны деградации, оценивать их интенсивность и степень изменений.

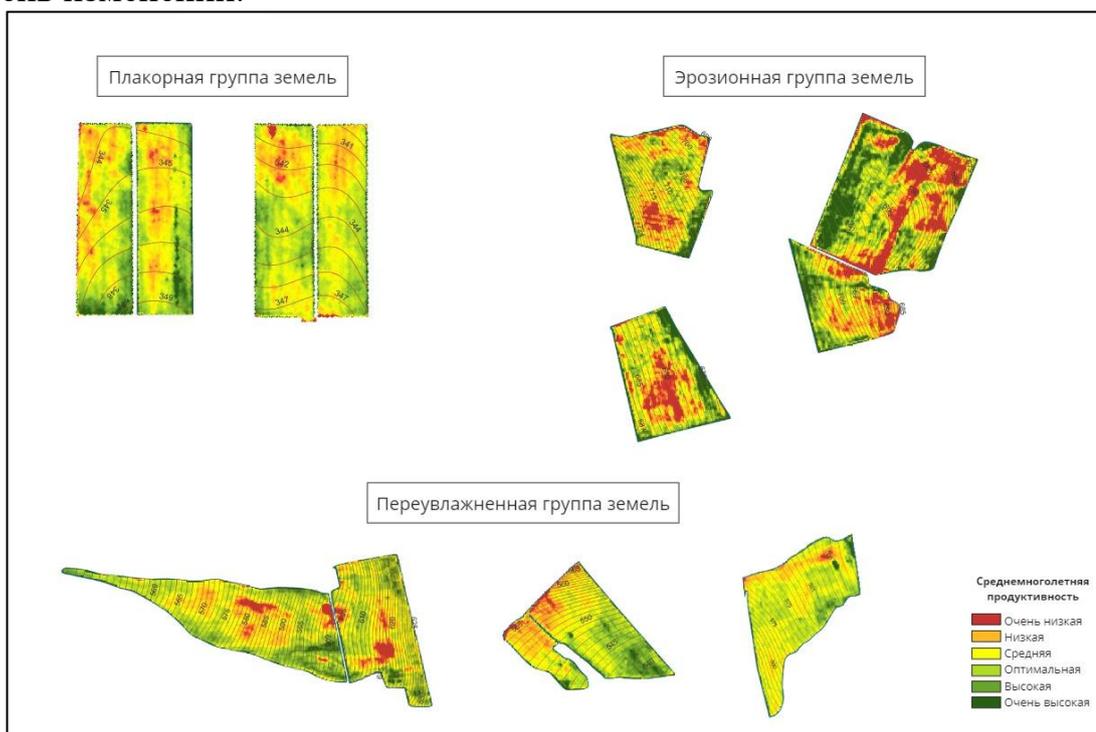


Рисунок 3 – Среднегодовое значение индекса NDVI

Сравнивая данные среднегодового индекса NDVI и почвенно-ландшафтного обследования, можно выделить закономерность, связанную с преобладанием более мощных черноземов в местах с более высокой среднегодовой продуктивностью. Однако, из-за простой структуры почвенного покрова на плакорной группе земель, состоящей из одной неконтрастной почвенной комбинации, данную зависимость нельзя считать абсолютной.

Для эрозионных земель выявлены более выраженные закономерности: продуктивность растений на данных территориях зависит от рельефа, крутизны склонов и, связанных с ним, почвенного покрова. Как показано на рисунке 3, продуктивность растений здесь ограничивается рельефом: на склонах с интенсивными эрозионными процессами преобладают слабо- и

среднесмытые почвы и уменьшается влагообеспеченность (отмечены красным цветом), на более пологих участках – не смытые почвы (зеленый цвет).

На третьей группе земель индекс среднегодовой продуктивности также в достаточной степени коррелирует со структурой почвенного покрова. Более высокая продуктивность отмечается на увлажнённых участках, чаще всего с преобладанием в СПП луговато-черноземных почв.

Индекс NDVI является информативным индикатором многолетней продуктивности растительности и её зависимости от различных почвенно-ландшафтных условий. Чем более выраженный рельеф и СПП, тем более показательным является индекс многолетней продуктивности.

3.2. Урожайность кукурузы в зависимости от группы земель и системы питания

В ходе исследования изучено влияние агроэкологической группы земель (фактор А) на урожайность кукурузы при различных системах питания (фактор Б).

Таблица 3 – Влияние различных систем питания на урожайность кукурузы в зависимости от агроэкологических групп земель

Вариант опыта	Система питания (фактор Б)	Урожайность, ц/га				Прибавка к фону		Прибавка к аммонийной селитре (Naa)	
		2021	2022	2023	Средняя	ц/га	%	ц/га	%
Плакорная группа земель (фактор А)									
1	Фон	59,8	58,7	46,6	55,0	-	-	-	-
2	Фон + Naa	73,0	71,6	61,9	68,8	13,8	25,1	-	-
3	Фон + ЖУ ЛФ	74,6	77,4	57,6	69,9	14,9	27,1	1,0	1,5
4	Фон + ЖУ ЛФ + м/п	84,3	81,1	74,8	80,1	25,1	45,6	11,3	16,4
Средняя по группе земель (фактор А), ц/га		72,9	72,2	60,2	68,4	-	-	-	-
Эрозионная группа земель (фактор А)									
5	Фон	49,4	45,1	35,4	43,3	-	-	-	-
6	Фон + Naa	62,2	62,8	53,0	59,3	15,9	37,0	-	-
7	Фон + ЖУ ЛФ	68,2	68,3	54,9	63,8	20,5	47,3	4,5	7,5
8	Фон + ЖУ ЛФ + м/п	71,9	73,6	57,0	67,5	24,2	55,9	8,1	13,7
Средняя по группе земель (фактор А), ц/га		62,9	62,5	50,0	58,5	-	-	-	-
Переувлажненная группа земель (фактор А)									
9	Фон	54,6	55,0	38,2	49,3	-	-	-	-
10	Фон + Naa	70,6	69,7	57,7	66,0	16,7	33,9	-	-
11	Фон + ЖУ ЛФ	75,5	74,2	61,9	70,5	21,3	43,1	4,5	6,9
12	Фон + ЖУ ЛФ + м/п	75,8	74,8	66,4	72,3	23,0	46,8	6,3	9,6

Продолжение таблицы 3

Средняя по группе земель (фактор А), ц/га	68,8	68,1	55,7	64,2	-	-	-	-
НСР ₀₅ для фактора А	2,25	2,18	2,15	1,21	-	-	-	-
НСР ₀₅ для фактора Б	2,59	2,52	2,48	1,40	-	-	-	-
НСР ₀₅ для сравнения частных средних	4,49	4,36	4,30	2,42	-	-	-	-

На плакорных землях наибольшая урожайность зафиксирована в варианте ЖУ ЛФ + м/п – 80,1 ц/га, что на 45,6 % превышает показатель фонового варианта. Варианты с использованием аммонийной селитры и ЖКУ, также показали высокие результаты – 68,8 и 69,9 ц/га, однако достоверной разницы между вариантами выявлено не было.

На эрозионных землях урожайность была ниже, что обусловлено худшими исходными агроэкологическими условиями в следствии развития эрозионных процессов и пониженной влагообеспеченности. В среднем, на фоновом варианте, урожайность кукурузы составила 43,3 ц/га, однако в варианте ЖУ ЛФ + м/п урожайность возросла до 67,5 ц/га, что на 55,9 % выше фонового уровня. Сравнивая одну систему питания между двумя группами земель видно, что на плакорных землях урожайность выше на 12,4 ц/га, по сравнению с эрозионной группой. Варианты с аммонийной селитрой и ЖУ ЛФ показали промежуточные результаты – 59,3 и 63,8 ц/га соответственно.

На переувлажненных землях средняя урожайность кукурузы за 3 года варьировалась от 49,3 ц/га на фоновом варианте до 72,3 ц/га при использовании ЖУ ЛФ + м/п. Максимальная урожайность на этих землях была на 46,8 % выше фонового показателя. Применение ЖУ ЛФ и аммонийной селитры также оказало значительное влияние на урожайность, обеспечив результаты в 70,5 и 66,0 ц/га соответственно.

3.3. Оценка вклада изучаемых факторов в формирование урожайности кукурузы

Двухфакторный дисперсионный анализ позволяет оценить вклад каждого фактора в формирование урожайности. В среднем за три года вклад фактора А – 0,17 или 17 %, фактора Б – 0,80 или 80 %. Основная доля прибавки урожайности приходится на систему питания, но в тоже время группа земель также вносит достаточно весомый вклад в формирование урожая.

Для выявления важнейших факторов, влияющих на урожайность кукурузы, был проведен анализ корреляционных связей между различными агрохимическими и агроэкологическими параметрами. В качестве метода анализа использована корреляционная матрица, которая позволяет выявить степень линейной зависимости между количественными переменными.

Для оценки степени влияния и анализа связи между выделенными ключевыми факторами и урожайностью, был проведен множественный линейный регрессионный анализ. Путем последовательного исключения незначимых переменных была построена модель, включающая четыре переменные: уклон (X_1), осадки (X_4), доза азота (X_2), доза фосфора (X_3).

Регрессионный анализ показал, что модель объясняет 79.1% вариации урожайности ($R^2 = 0,791$), что свидетельствует о хорошей объясняющей способности модели. На основе полученных коэффициентов, уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$Y = 10,14 - 3,26 \cdot X_1 + 0,22 \cdot X_2 + 0,56 \cdot X_3 + 0,03 \cdot X_4$$

На основании данных, полученных в ходе корреляционного анализа и множественной регрессии, была сформирована графическая модель данных, отражающая вклад различных переменных в итоговый параметр урожайности (рисунок 4).

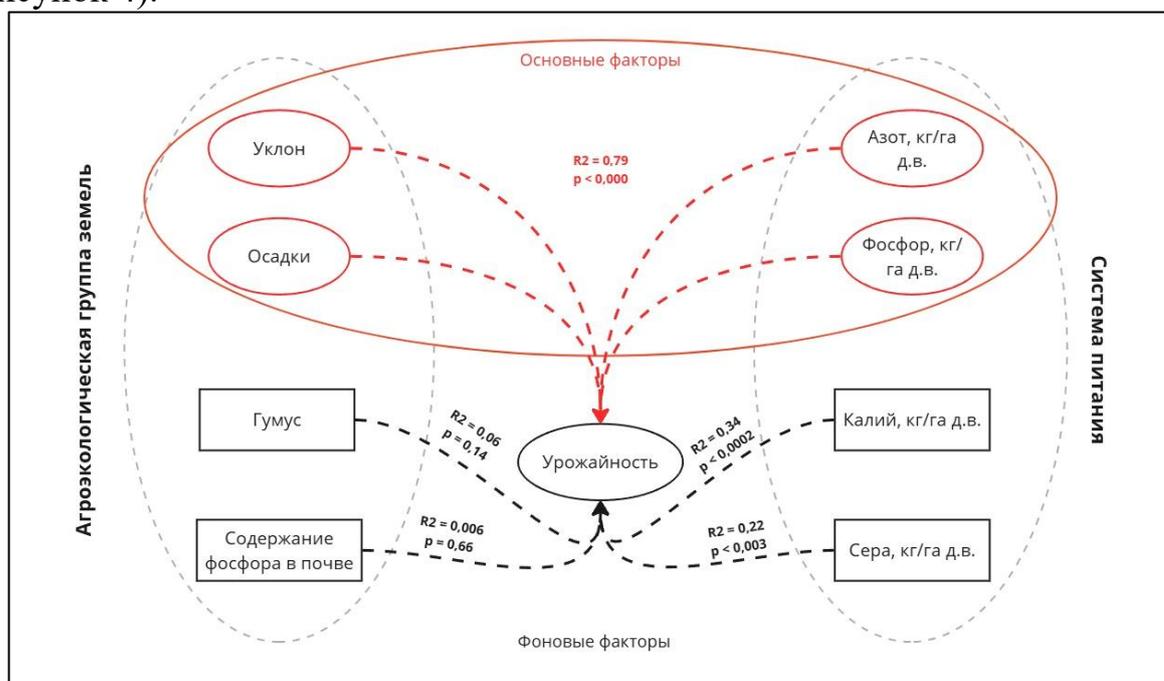


Рисунок 4 – Модель вклада факторов в урожайность кукурузы

Предложенная модель отражает внешние «фоновые» и внутренние «основные» факторы, определяющие итоговую урожайность кукурузы. Следует отметить, что параллельно с основными факторами, оказывающими непосредственное воздействие, фоновые факторы также косвенно влияют на урожайность.

3.4. Качественные показатели и химический состав зерна кукурузы

Увеличение доз азотных удобрений, достоверно повышало содержание азота в зерне на всех группах земель. Применение аммонийной селитры и ЖУ ЛФ + м/п показало наибольшее увеличение содержания азота, на плакорной группе земель 1,44 и 1,51 % соответственно (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние систем питания и групп земель на химический состав зерна кукурузы, в среднем за 2021-2023 гг. (в % к сухой массе)

Вариант опыта	Факторы		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	Группа земель (фактор А)	Система питания (фактор Б)			
1	Плакорные	Фон	1,19	0,43	0,46
2		Фон + Naa	1,44	0,44	0,45
3		Фон + ЖУ ЛФ	1,39	0,44	0,41
4		Фон + ЖУ ЛФ + м/п	1,51	0,46	0,40

Продолжение таблицы 4

5	Эрозионные	Фон	1,17	0,40	0,42
6		Фон + Naa	1,36	0,39	0,42
7		Фон + ЖУ ЛФ	1,34	0,42	0,41
8		Фон + ЖУ ЛФ + м/п	1,43	0,43	0,39
9	Переувлажненные	Фон	1,20	0,43	0,46
10		Фон + Naa	1,43	0,44	0,40
11		Фон + ЖУ ЛФ	1,40	0,44	0,43
12		Фон + ЖУ ЛФ + м/п	1,53	0,46	0,43
НСР ₀₅			0,05	F _{факт} < F ₀₅	F _{факт} < F ₀₅

На эрозионной группе земель аммонийная селитра достоверно увеличивала содержание азота до 1,36 %, ЖУ ЛФ – до 1,34 %, по сравнению с фоном (1,17 %). В варианте ЖУ ЛФ + м/п содержание азота возрастало до 1,43 %. На переувлажненных землях (аналогично плакорным) достигнуты максимальные значения содержания азота при использовании ЖУ ЛФ + м/п (1,53%), разница с фоновым вариантом составляет 0,33 %.

Содержание сырого протеина также увеличивается с повышением доз азотных удобрений. На плакорных и переувлажненных землях содержание сырого протеина достигает 12,5 % на вариантах с внесением ЖУ ЛФ + м/п, что на 0,4 % выше, чем на эрозионной группе земель (12,1 %) при той же системе питания.

Содержание фосфора, калия, сырой клетчатки и сырого жира в зерне слабо варьирует по вариантам опыта. На основании проведенного анализа достоверной разницы выявлено не было, ни система питания, ни группа земель, не оказали существенного влияния на содержание данных показателей.

3.5. Вынос элементов питания кукурузой на зерно

В ходе исследования были проанализированы изменения выноса элементов питания с основной продукцией (зерном) в зависимости от группы земель и системы питания. Полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии удобрений на вынос питательных веществ, причем интенсивность данного процесса варьируется в зависимости от агроэкологической группы земель. Вынос азота на фоновом варианте варьировал от 51 до 66 кг/га, фосфора от 17 до 24 кг/га, калия от 18 до 26 кг/га в зависимости от группы земель. В варианте ЖУ ЛФ+м/п вынос элементов питания увеличивался на всех группах земель: азот – от 97 до 121 кг/га, фосфор – 29-37 кг/га, калий – 27-32 кг/га. Наибольший вынос зафиксирован на плакорной группе земель, наименьший на эрозионной. Также на всех группах земель разница в выносе элементов питания между вариантами с аммонийной селитрой и ЖУ ЛФ была незначительна.

3.6. Экономическая эффективность

Оценка экономической эффективности по прямым затратам, позволяет определить целесообразность использования различных уровней интенсификации агротехнологий, а также их практическую применимость в

производственных условиях. Ключевыми экономическими показателями в данном исследовании являются условно чистый доход, окупаемость затрат и рентабельность. В основе расчета экономической эффективности использованы данные о цене реализации зерна и цене удобрений по данным Росстата и производителя ООО «ЛиквиФорс».

Анализ данных, представленных в таблице 5, показывает различия в экономической эффективности применения различных систем питания при возделывании кукурузы на разных группах земель.

На плакорной группе земель применение ЖУ ЛФ и междурядной подкормки в течении вегетации увеличивало урожайность по сравнению с фоном на 25 ц/га. Условно чистый доход составил 63 025 руб./га, себестоимость продукции снизилась на 11,0 % (до 539,7 руб./ц), а рентабельность увеличилась с 119 % до 146 %.

На эрозионной группе земель наибольшее повышение урожайности зафиксировано в варианте Фон + ЖУ ЛФ + м/п. Однако, рост себестоимости продукции (640,4 руб./ц) и снижение рентабельности до 107 %, относительно варианта Фон + ЖУ ЛФ (111 %) свидетельствует о меньшей эффективности дополнительного внесения подкормки во время вегетации.

Таблица 5 – Влияние различных систем питания на экономическую эффективность возделывания кукурузы в зависимости от агроэкологических групп земель (в среднем за 2021-2023 гг.)

Показатели	Система питания (фактор Б)			
	Фон	Фон + Наа	Фон + ЖУ ЛФ	Фон + ЖУ ЛФ + м/п
Плакорная группа земель (фактор А)				
Урожайность, ц/га	55,0	68,8	69,9	80,1
Стоимость продукции, руб/га	72958	91263	92722	106253
Общие затраты, руб/га	33387	38986	40144	43228
Себестоимость продукции, руб/ц	607,0	566,7	574,31	539,7
Условно чистый доход, руб/га	39571	52277	52578	63025
Окупаемость удобрений, руб/руб	2,19	2,34	2,31	2,46
Рентабельность, %	119	134	131	146
Эрозионная группа земель (фактор А)				
Урожайность, ц/га	43,3	59,3	63,8	67,5
Стоимость продукции, руб/га	57437	78661	84631	89539
Общие затраты, руб/га	33387	38986	40144	43228
Себестоимость продукции, руб/ц	771,1	657,4	629,2	640,4
Условно чистый доход, руб/га	24050	39675	44487	46311
Окупаемость удобрений, руб/руб	1,72	2,02	2,11	2,07
Рентабельность, %	72	102	111	107
Переувлажненная группа земель (фактор А)				
Урожайность, ц/га	49,3	66,0	70,5	72,3
Стоимость продукции, руб/га	65396	87549	93518	95906
Общие затраты, руб/га	33387	38986	40144	43228
Себестоимость продукции, руб/ц	677,2	590,7	569,4	597,9

Продолжение таблицы 5

Условно чистый доход, руб/га	32009	48563	53374	52678
Окупаемость удобрений, руб/руб	1,96	2,25	2,33	2,22
Рентабельность, %	96	125	133	122

На переувлажненных землях максимальная урожайность отмечена в варианте Фон + ЖУ ЛФ + м/п, что на 46,7 % выше, чем на фоновом варианте (49,3 ц/га), при уровне рентабельности 122 %. В варианте Фон + ЖУ ЛФ урожайность была несколько ниже (70,5 т/га), однако, рентабельность оказалась выше и составила 133 %.

Заключение

В ходе проведенных научных исследований была изучена эффективность жидких удобрений ЛиквиФорс (марки NPK 7:23:7 и NS 8:9) и разработана система питания кукурузы на зерно для каждой агроэкологической группы земель, в условиях Западного Предкавказья. Были получены следующие **выводы**:

1. Проведенная агроэкологическая оценка исследуемой территории, на основе почвенно-ландшафтного картографирования и геоинформационных систем, позволила выделить 3 агроэкологических группы земель: плакорные земли – расположенные на равнинном участке в средней части длинного водораздельного склона, с углом наклона менее 1°; эрозионные земли – расположенные на склонах 2-3° и 3-5°; переувлажненные земли – расположенные в нижней части склона, в низинах. Каждая группа земель отличается по характеру рельефа, структуры почвенного покрова и преобладающим лимитирующим факторам.

2. Проведенные исследования подтвердили эффективность применения верифицированных многовременных индексов NDVI и AOLNDVI, проверенных методами почвенно-ландшафтного картографирования, для оценки продуктивности агроценозов и выявления деградированных участков в условиях Западного Предкавказья. Данные исследования подтверждают возможность использования данных индексов для цифрового почвенного картографирования и первичной агроэкологической оценки территории.

3. Наибольшая урожайность зерна кукурузы получена в вариантах с внесением ЖУ ЛиквиФорс марки NPK 7:23:7 в дозе 75 л/га при посеве и подкормки смесью КАС-32 + ЖУ ЛиквиФорс марки NS 8:9 в дозах 100 л + 75 л/га соответственно (вариант Фон + ЖУ ЛФ+м/п) на всех группах земель. Урожайность на плакорных землях достигла 80,1 ц/га, что на 45,6 % выше фоновое уровня. На эрозионных землях урожайность увеличилась до 67,5 ц/га, что на 55,9 % выше фона. На переувлажненных землях результат составил 72,3 ц/га, что на 46,8 % превышает урожайность фоновое варианта. Внесение только ЖУ ЛиквиФорс в дозе 75 л/га при посеве (вариант Фон + ЖУ ЛФ) и аммонийной селитры в дозе 150 кг/га (вариант Фон + Naa) показали меньшую прибавку по сравнению с фоном: 25-27 % на плакорных землях, 37-47 % на эрозионных и 33-43 % на переувлажненных землях соответственно.

На плакорных землях разницы между данными вариантами выявлено не было – 69,9 и 68,8 ц/га, соответственно. На эрозионных и переувлажненных землях наоборот, прибавка от внесения ЖУ ЛФ достоверно отличается от аммонийной селитры – 63,8-59,3 ц/га и 70,5-66,0 ц/га, соответственно.

4. Система питания оказала существенное влияние на содержание азота и протеина в зерне кукурузы. Вариант с внесением ЖУ ЛФ+м/п способствовал увеличению содержания азота на всех группах земель: плакорные – 1,51 %, эрозионные – 1,43 % и переувлажненные – 1,53 %. Внесение аммонийной селитры эффективнее повышало содержание азота, чем внесение ЖУ ЛФ, однако достоверная разница между двумя вариантами зафиксирована только на плакорных землях. Содержание фосфора, калия, сырого жира и сырой клетчатки достоверно не изменялось по вариантам опыта.

5. Разработанная математическая модель позволила количественно оценить вклад изучаемых факторов в формирование урожайности. Методом последовательного исключения незначимых факторов, получена оптимизированная модель, включающая четыре значимые переменные: уклон и осадки (характеризующие агроэкологическую группу земель), нормы азота и фосфора (система питания). Модель объясняет 79,1 % вариации урожайности ($R^2 = 0,791$). На основе проведенного анализа построена графическая модель, визуализирующая вклад различных факторов в формирование урожайности.

6. На плакорных землях необходимо применять интенсивную систему питания кукурузы – вариант ЖУ ЛФ+м/п, где условно чистый доход составил 62 978 руб./га, а рентабельность достигла 146 %. На эрозионных землях экономически обоснованным является нормальный уровень интенсификации с использованием ЖУ ЛФ (без междурядной подкормки), который показывает наивысшую рентабельность на данной группе земель – 111 %. На переувлажненной агроэкологической группе земель можно применять нормальный уровень интенсификации с использованием ЖУ ЛФ (без междурядной подкормки), при уровне рентабельности 133 %. Но в зависимости от климатических условий года и начала вегетационного периода возможно применение интенсивной системы питания – вариант ЖУ ЛФ+м/п.

Предложение производству

При выращивании кукурузы на зерно в условиях Западного Предкавказья рекомендуется:

1. На плакорной агроэкологической группе земель припосевное внесение жидкого удобрения ЛиквиФорс марки NPK 7:23:7 в дозе 75 л/га или эквивалент 100 кг/га (рабочий раствор с учетом воды 150 л/га) и совместное внесение КАС-32 (130 кг/га или 100 л/га) + жидкое удобрение ЛиквиФорс марки NS 8:9 (82,5 кг/га или 75 л/га) в фазу 3-5 листьев совместно с междурядной обработкой (рабочий раствор с учетом воды 350 л/га).

2. На эрозионной агроэкологической группе земель припосевное внесение жидкого удобрения ЛиквиФорс марки NPK 7:23:7 в дозе 75 л/га или эквивалент 100 кг/га (рабочий раствор с учетом воды 150 л/га).

3. На переувлажненной агроэкологической группе земель припосевное внесение жидкого удобрения ЛиквиФорс марки NPK 7:23:7 в дозе 75 л/га или эквивалент 100 кг/га (рабочий раствор с учетом воды 150 л/га). В зависимости от климатических условий вегетационного периода возможно применение системы питания, как на плакорной группе земель.

Список опубликованных работ по теме диссертации

Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Куприянов, А. Н. Применение жидких комплексных минеральных удобрений как фактор оптимизации производства продукции растениеводства в условиях изменения климата / А. Н. Куприянов, А. А. Прохоров, А. И. Белолобцев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2024. – № 3(233). – С. 33-40.

2. Kupriyanov, A. N. Use of geoinformation systems in agroecological land assessment / A. N. Kupriyanov, O. E. Efimov // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 201. – С. 128-140.

3. Куприянов, А. Н. Влияние жидких комплексных удобрений на качество зерна кукурузы и эффективность использования элементов питания на разных агроэкологических группах земель / А. Н. Куприянов, О.Е. Ефимов, А. А. Прохоров // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2024. – № 12(242). – С. 24-31.

Статьи в других изданиях:

4. Кузнецов, И. А. Деградация эродированных почв в условиях потепления климата / И. А. Кузнецов, А. Н. Куприянов // Агрометеорология XXI века : материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию кафедры метеорологии и климатологии, Москва, 19 декабря 2023 года. – С. 157-163.

5. Куприянов, А. Н. Опыт внедрения жидких комплексных удобрений при выращивании кукурузы на зерно в условиях Краснодарского края / А. Н. Куприянов, А. И. Белолобцев // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева: Сборник статей, Москва, 05–07 июня 2023 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2023. – С. 366-370.

6. Куприянов, А. Н. Влияние жидких комплексных удобрений на качество зерна кукурузы на разных агроэкологических группах земель в условиях Краснодарского края / А. Н. Куприянов // Сборник трудов Всероссийской молодежной научной конференции с международным участием IX Вильямсовские чтения, Москва, 27–28 ноября 2024 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет, 2024. – С. 106-111.