

*На правах рукописи*

**ГАВРЮШИНА ИРИНА ВЛАДИМИРОВНА**

**НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ  
КУКУРУЗЫ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

Специальности: 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени

доктора сельскохозяйственных наук

Ижевск, 2024

Работа выполнена на кафедре «Переработка сельскохозяйственной продукции» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет»

- Научный консультант:** **Надежкин Сергей Михайлович**  
доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторно-аналитическим отделом ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»
- Официальные оппоненты:** **Кравченко Роман Викторович**  
доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры общего и орошаемого земледелия ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина»
- Усанова Зоя Ивановна**  
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры агробиотехнологий, перерабатывающих производств и семеноводства ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия»
- Бочкарев Дмитрий Владимирович**  
доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры агрономии и ландшафтной архитектуры ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»
- Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы»

Защита диссертации состоится «04» июля 2024 г. в 10<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета 35.2.043.02 на базе Удмуртского ГАУ по адресу: 426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11. тел./факс (3412)58-99-47, e-mail: info@udsau.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет», на сайте университета <https://udsau.ru/> и на официальном сайте ВАК при Минобрнауки РФ <https://vak.minobrnauki.gov.ru>

Отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью, направлять по адресу: 426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11, e-mail: nir210@mail.ru

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат сельскохозяйственных наук

Рябова Татьяна Николаевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследований.** Увеличение производства животноводческой продукции требует создания хорошей кормовой базы. Это может быть достигнуто на основе высокой интенсивности кормопроизводства, нацеленного на получение высоких урожаев кормовых культур. Резервом укрепления кормовой базы является разработка, внедрение новых и совершенствование существующих технологий возделывания сельскохозяйственных культур с учётом природно-климатических условий региона.

Кукурузе принадлежит важная роль в развитии кормовой базы как высокопродуктивному растению. Она обеспечивает животноводство высокоэнергетическим кормом. В структуре посевных площадей кормовых культур доля кукурузы составляет около 60 % (Куликов Л.А., 2015). В условиях Среднего Поволжья кукуруза возделывается, в основном, как силосная культура. Однако наука и передовая практика показывают эффективность использования зерна кукурузы в рационах сельскохозяйственных животных при организации их биологически полноценного кормления (Кошеляев В.В. и др., 2003, 2004; Толорая, Т.Р. с соавт., 2009; Багринцева В.Н. и др., 2009, 2018, 2019; Воскобулова, Н.И. и др., 2015; Усанова З.И. с соавт., 2018; Васин В.Г. и др. 2017, 2019; Коконев С.И. и др., 2020).

В последние годы площади возделывания кукурузы и уровень урожайности значительно выросли. Наряду с ростом площади посевов, совершенствуется технология возделывания этой культуры, внедряются современные гибриды, наиболее приспособленные к почвенно-климатическим условиям конкретных регионов. Однако потенциал современных гибридов используется всего лишь на 30-40 %.

В современных условиях интенсивного производства, увеличение валовых сборов зерна и зеленой массы кукурузы возможно как за счет подбора стабильно продуктивных гибридов нового поколения, обладающих высокой потенциальной продуктивностью, так и за счет совершенствования технологии их возделывания. В связи с этим одним из неиспользованных резервов дальнейшего повышения урожайности культуры является оптимизация питания растений, основанная на поиске эффективного сочетания применения макро- и микроудобрений, биостимуляторов и средств защиты растений.

Поэтому разработка и теоретическое обоснование технологии управления процессом питания кукурузы, обеспечивающей высокие урожаи зерна и листостебельной массы, актуально, вносит вклад в развитие растениеводческой науки, имеет практическое значение и способствует экономическому развитию сельскохозяйственной отрасли.

**Степень разработанности проблемы.** Вопросы совершенствования технологических приемов возделывания кукурузы отражены в работах отечественных исследователей Цикова В.С., Матюхи А.А. (1989), Кошеляева В.В. (2003, 2004), Багринцевой В.Н. и др. (2009, 2014, 2019), Толорая Т.Р. с соавт. (2004, 2013), Адиньяева А.Д. и др. (2010, 2016), Кравченко Р.В. (2010, 2020), Адаева Н.Л. (2016), Усановой, З.И. и др. (2016, 2018), Васиной В.Г. с соавт. (2017, 2019) и др. Однако вопросы, касающиеся разработки эффективных мероприятий по борьбе с сорной растительностью, адаптированных к конкретным почвенно-климатическим условиям лесостепи Среднего Поволжья, определения оптимальной густоты стояния в зависимости от агрофона, требуют более детального рассмотрения. Изучены

недостаточно полно вопросы получения оптимальных параметров высокопродуктивных агроценозов кукурузы при применении регуляторов роста растений, кремнийсодержащих и комплексных удобрений с микроэлементами, что имеет большую актуальность в научном аспекте и практическую значимость.

**Цель исследований** – научно-теоретическое обоснование и совершенствование технологии, обеспечивающей наиболее полную реализацию генетического потенциала урожайности зерна и листостебельной массы кукурузы.

Для осуществления поставленной цели решались следующие **задачи**:

- изучить фитоценотическое состояние посевов, биологическую активность почвы, водопотребление культуры и особенности формирования урожайности и качества зерна кукурузы при различных уровнях минерального питания во взаимодействии с регуляторами роста и гербицидами;
- установить оптимальную густоту растений на различных уровнях минерального питания, обеспечивающую наиболее полную реализацию потенциальной урожайности зерна и листостебельной массы кукурузы;
- выявить основные закономерности фотосинтетической деятельности посевов кукурузы в зависимости от технологических приемов возделывания;
- показать особенности формирования урожайности зерна и листостебельной массы в зависимости от применения регуляторов роста растений;
- определить отзывчивость разных по скороспелости гибридов кукурузы на приемы фолиарной обработки посевов удобрениями с микроэлементами в зависимости от уровня корневого питания;
- обосновать использование различных видов кремнийсодержащих удобрений и сроки некорневой обработки для реализации продуктивного потенциала кукурузы;
- разработать математические модели взаимосвязи урожайности зеленой массы и зерна кукурузы, сбора протеина, жира, кормовых единиц и обменной энергии с густотой растений;
- дать биоэнергетическую и экономическую оценку разработанным приемам технологии возделывания кукурузы.

**Научная новизна.** Применительно к условиям лесостепи Среднего Поволжья экспериментально выявлены, проанализированы, обобщены и научно обоснованы оптимальные приемы формирования высокопродуктивных агроценозов кукурузы на уровне 11,0-17,5 т кормовых единиц и 6,5-10 т зерна с 1 га. В результате многолетних исследований дано теоретическое обоснование элементам адаптивных технологий возделывания кукурузы. Выявлены наиболее эффективные приемы защиты посевов кукурузы от сорной растительности. Установлены условия и приемы получения параметров высокопродуктивных агроценозов кукурузы.

Определены особенности роста и развития растений кукурузы, формирования урожайности и качественных показателей продукции в зависимости от уровня корневого минерального питания и регулятора роста. Установлены оптимальные параметры густоты растений в зависимости от уровня корневого минерального питания при возделывании на зерно и зеленую массу. Разработаны приемы некорневой обработки посевов растворами комплексных удобрений с микроэлементами, кремнийсодержащих удобрений, обеспечивающие формирование высокопродуктивных посевов кукурузы.

Дана биоэнергетическая и экономическая оценка технологий возделывания кукурузы на зерно и зеленую массу.

### **Основные положения, выносимые на защиту:**

- обоснование технологии создания высокопродуктивных агроценозов кукурузы при оптимизации условий минерального питания и защиты от сорной растительности на чернозёмах выщелоченных;
- оптимизация густоты растений на различных уровнях минерального питания для реализации продуктивного потенциала кукурузы;
- особенности использования регуляторов роста для формирования высокопродуктивных агроценозов кукурузы;
- эффективные системы удобрения, обеспечивающие максимальную продуктивность кукурузы при возделывании на зерно и зеленую массу;
- оптимальный режим некорневой обработки посевов кукурузы удобрениями с кремнием;
- агроэнергетическая и экономическая оценка технологий возделывания кукурузы.

**Теоретическая и практическая значимость** заключается в разработке научно-обоснованных адаптивных ресурсосберегающих технологий возделывания кукурузы, обеспечивающих получение 11,0-17,5 т/га кормовых единиц, 560-1180 кг/га протеина, 9,8-11,5 МДж обменной энергии в 1 кг сухого вещества и 6,5-10 т/га зерна.

На основании проведенных исследований разработана комплексная система применения регуляторов роста и гербицидов, способная снизить негативное влияние последних, сохранив при этом их высокую биологическую эффективность в борьбе с сорным компонентом агроценоза, и даны конкретные рекомендации по защите посевов кукурузы на зерно от сорной растительности.

Определена оптимальная густота кукурузы при возделывании на силос и зерно в зависимости от уровня минерального питания.

Показана высокая эффективность экологически чистых низкочастотных некорневых подкормок комплексными удобрениями с микроэлементами и фолиарной обработки регуляторами роста растений.

В условиях неустойчивого увлажнения важным приёмом повышения продуктивности кукурузы является некорневая обработка кремнийсодержащими удобрениями.

Представленная работа является составной частью плана научно-исследовательских работ ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ «Раздел 2. Разработка адаптивных ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Подраздел 2.5. Совершенствование технологии возделывания кукурузы».

Результаты научных исследований были использованы при написании в 2018 г. главы в монографии «Агротехнологические основы технологий возделывания сельскохозяйственных культур» (в соавторстве с Семиной С.А., Палийчук А.С.), в 2020 г. – монографии «Формирование высокопродуктивных агроценозов кукурузы при совершенствовании технологических приемов выращивания» (в соавторстве с Семиной С.А., Палийчук А.С.) и апробированы в ряде хозяйств Пензенской области на площади 470 га.

**Методология и методы исследований.** Методология проводимых исследований основана на теоретических методах – изучение и анализ научной литературы отечественных и зарубежных авторов, обработка результатов исследований методами параметрической и непараметрической статистики. Эмпирические – проведение полевых и лабораторных исследований, графическое и табличное отображе-

ние полученных результатов.

**Степень достоверности результатов исследований.** Объективность и достоверность полученных результатов подтверждена многолетними исследованиями, применением современных методик закладки и проведения полевых опытов, необходимым объемом проведенных анализов, измерений, наблюдений, статистической обработкой экспериментальных данных.

**Апробация работы.** Основные разделы диссертации освещались на региональных, Всероссийских и Международных научно-практических конференциях: Владикавказ, 2017; Саратов, 2017, 2020; Петропавловск, 2018; Орел, 2018, Ульяновск, 2018, 2021; Beijing, China, 2019, Чебоксары, 2021.

**Публикации.** По результатам диссертационной работы опубликовано 2 монографии, 52 научные статьи, в том числе 19 в изданиях из перечня ВАК РФ.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, 8 глав, заключения и предложений производству. Работа изложена на 538 страницах компьютерного текста, содержит 101 таблицу, 43 рисунка, 179 приложений. Список литературы включает 529 источников, из них 104 иностранных авторов.

**Личное участие автора.** Автору принадлежит идея теоретического обоснования и экспериментальная оценка совершенствования технологий возделывания, направленная на реализацию продуктивного потенциала кукурузы. Автор принял личное участие во всем комплексе исследований в период с 2014 по 2022 гг. Автором осуществлялась постановка задач, разработка программы исследований, проведение полевых опытов и наблюдений, анализ полученных результатов и литературных данных, подготовке диссертации и автореферата, написании статей, монографий и выступлений с сообщениями на различных конференциях.

### **Условия, объекты и методика проведения исследований**

Экспериментальная работа проводилась в ЗАО «Константиново» Пензенского района, в соответствии с планами научно-исследовательской работы ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ, производственная проверка проводилась в хозяйствах Пензенской области.

Почвенный покров участков, где проводились исследования, представлен чернозёмом выщелоченным. Содержание гумуса в пахотном слое 5,2-5,9 %,  $N_{\text{щел}}$  – 81-104;  $P_2O_5$  – 72-96;  $K_2O$  – 107-129 мг/кг почвы (по Чирикову);  $pH_{\text{ккл}}$  5,14-5,45, Нг 7,14-7,69 мг-экв/100 г, сумма поглощенных оснований 27,2-31,0 мг-экв/100 г.

В годы проведения исследований сумма положительных температур больше 10 °С изменялась от 2086 °С до 2343 °С, сумма осадков за вегетацию – от 134,3 мм до 240,1 мм, гидротермический коэффициент (ГТК) от 0,6 до 1,3; 2014, 2015, 2016, 2018, 2019, 2022 годы были недостаточно увлажненные (ГТК < 0,9), 2020 годы – умеренно увлажненный (ГТК = 0,9-1,0), 2017, 2021 – достаточно увлажненные (ГТК > 1,0).

Решение основных поставленных задач осуществлялось постановкой и проведением двух-, трех- и четырехфакторных полевых опытов.

Полевые опыты закладывали и проводили в соответствии с методическими указаниями Б.А. Доспехова (1985), Государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур (1971), Методическими указаниями

ВНИИ кукурузы (1960, 1967, 1980) и других научных учреждений.

За годы исследований выполнены следующие опыты.

Опыт 1. Оптимизация уровня интенсивности технологии возделывания кукурузы на зерно (2014-2018 гг.). Трехфакторный полевой опыт был заложен в четырехкратной повторности методом расщепленных делянок. Делянки первого порядка (фактор А), где располагали агрофон (без удобрений и  $N_{120}P_{100}K_{60}$ ), делились на делянки второго порядка (фактор В), где размещали регулятор роста Циркон (40 мл/га). Они, в свою очередь, делились на делянки третьего порядка (фактор С), где размещали варианты с применением гербицидов (без гербицида (контроль); довсходовый (Дуал Голд, КЭ, 1,5 л/га); послевсходовый (Элюмис, МД, 1,5 л/га); довсходовый (Дуал Голд, КЭ, 1,5 л/га) + послевсходовый (Элюмис, МД, 1,5 л/га). Объект исследований – раннеспелый (ФАО 180) гибрид кукурузы Ладожский 181 МВ.

Опыт 2. Оптимизация густоты растений и уровня минерального питания при возделывании кукурузы на силос. Опыт проводили в 2015-2018 гг. Двухфакторный полевой опыт закладывали по факториальной схеме методом расщепленных делянок в четыре яруса с частичной рендомизацией, повторность четырехкратная. На делянках первого порядка (фактор А) изучали разные агрофоны ( $N_0P_0K_0$ ;  $N_{120}P_{90}$ ;  $N_{90}P_{90}+N_{30}$ ;  $N_{120}P_{90}K_{60}$ ), которые делились на делянки второго порядка, где размещали варианты густоты растений (фактор В), 60, 70, 80, 90, 100 тыс. шт./га. Объект исследований: раннеспелый (ФАО 190) гибрид кукурузы РОСС 199 МВ.

Опыт 3. Влияние густоты растений и уровня минерального питания на продуктивность кукурузы при возделывании на зерно. Опыт проводили в 2015-2018 гг. Двухфакторный полевой опыт был заложен в четырехкратной повторности методом расщепленных делянок. На делянках первого порядка (фактор А) изучали разные агрофоны ( $N_0P_0K_0$ ;  $N_{120}P_{90}$ ;  $N_{90}P_{90}+N_{30}$ ;  $N_{120}P_{90}K_{60}$ ), которые делились на делянки второго порядка, где размещали варианты густоты растений (фактор В), 60, 70, 80, 90, 100 тыс. шт./га. Объект исследований: раннеспелый (ФАО 190) гибрид кукурузы РОСС 199 МВ.

Опыт 4. Влияние регуляторов роста растений на формирование зерновой продуктивности кукурузы (2014-2016 гг.). Двухфакторный полевой опыт был заложен в четырехкратной повторности методом расщепленных делянок. Делянки первого порядка (фактор А), где располагали агрофон (без удобрений ( $N_0P_0K_0$ ) и  $N_{120}P_{90}K_{60}$ ), делились на делянки второго порядка (фактор В), где размещали регуляторы роста (без регулятора роста (контроль); Эпин-экстра (50 мл/га); Циркон (40 мл/га); Рибав-экстра (1,0 мл/га); АгроСтимул (100 мл/га); Агростимулин (15 мл/га); Plagron Vita Race (300 мл/га)). Объект исследований – раннеспелый (ФАО 180) гибрид кукурузы Ладожский 181 МВ.

Опыт 5. Роль комплексных удобрений с микроэлементами в формировании продуктивности кукурузы при возделывании на силос (2015-2017 гг.). Двухфакторный полевой опыт был заложен в четырехкратной повторности методом расщепленных делянок. Делянки первого порядка (фактор А), где располагали агрофон ( $N_0P_0K_0$ ;  $N_{120}P_{90}$ ;  $N_{120}P_{90}K_{60}$ ), делились на делянки второго порядка (фактор В), где размещали варианты некорневой обработки комплексными удобрениями (контроль (обработка водой); ЭкоФус (2,5 л/га); Грин Го (1,5 кг /га); Сили-

плант универсальный (1,0 л/га); Гумостим (0,3 л/га); Цитовит (0,5 л/га); Гумат+7В (0,5 л/га)). Объект исследований – раннеспелый (ФАО 190) гибрид кукурузы РОСС 199 МВ.

Опыт 6. Роль комплексных удобрений с микроэлементами в формировании зерновой продуктивности кукурузы (2015-2017 гг.). Двухфакторный полевой опыт был заложен в четырехкратной повторности методом расщепленных делянок. Делянки первого порядка (фактор А), где располагали агрофон ( $N_0P_0K_0$ ;  $N_{120}P_{90}$ ;  $N_{120}P_{90}K_{60}$ ), делились на делянки второго порядка (фактор В), где размещали варианты некорневой обработки комплексными удобрениями (контроль (обработка водой); ЭкоФус (2,5 л/га); Грин Го (1,5 кг /га); Силиплант универсальный (1,0 л/га); Гумостим (0,3 л/га); Цитовит (0,5 л/га); Гумат+7В (0,5 л/га)). Объект исследований – раннеспелый (ФАО 190) гибрид кукурузы РОСС 199 МВ.

Опыт 7. Влияние срока некорневой обработки удобрениями с микроэлементами на реализацию силосной продуктивности гибридов кукурузы разной скороспелости (2016-2018 гг.). Четырехфакторный полевой опыт был заложен в четырехкратной повторности. Делянки первого порядка (фактор А), где располагали гибриды (раннеспелый (ФАО 190) Ладожский 191 МВ, среднеранний (ФАО 210) Роналдинио), делились на делянки второго порядка (фактор В), где размещали минеральные удобрения ( $N_0P_0K_0$  и  $N_{110}P_{70}K_{40}$ ), которые делились на делянки третьего порядка (фактор С), где размещали комплексные удобрения с микроэлементами (без комплексного удобрения с микроэлементами (контроль); Азосол 36 Экстра; Акварин 5)), которые, в свою очередь, делились на делянки четвертого порядка (фактор D), где размещали варианты сроков некорневой обработки комплексными удобрениями с микроэлементами (в фазе пяти листьев кукурузы; в фазе восьми листьев кукурузы; в фазе (5 листьев + 8 листьев)).

Опыт 8. Обоснование срока некорневой обработки удобрениями с микроэлементами для реализации зерновой продуктивности гибридов кукурузы разной скороспелости (2016-2018 гг.). Четырехфакторный полевой опыт был заложен в четырехкратной повторности. Делянки первого порядка (фактор А), где располагали гибриды (раннеспелый (ФАО 190) Ладожский 191 МВ, среднеранний (ФАО 210) Роналдинио), делились на делянки второго порядка (фактор В), где размещали минеральные удобрения ( $N_0P_0K_0$  и  $N_{110}P_{70}K_{40}$ ), которые делились на делянки третьего порядка (фактор С), где размещали комплексные удобрения с микроэлементами (без комплексного удобрения с микроэлементами (контроль); Азосол 36 Экстра; Акварин 5)), которые, в свою очередь, делились на делянки четвертого порядка (фактор D), где размещали варианты сроков некорневой обработки комплексными удобрениями с микроэлементами (в фазе пяти листьев кукурузы; в фазе восьми листьев кукурузы; в фазе (5 листьев + 8 листьев)).

Опыт 9. Влияние некорневой обработки посевов кремнийсодержащими удобрениями на продуктивность кукурузы при возделывании на силос. Исследования проводили в 2018-2022 гг. Двухфакторный полевой опыт был заложен в четырехкратной повторности методом расщепленных делянок. Делянки первого порядка (фактор А), где располагали фоны с кремнийсодержащими удобрениями (без кремнийсодержащего удобрения (контроль); Келик Калий+Кремний (1,5 л/га); НаноКремний (150 г/га); Микровит-6 Кремний (1,0 л/га), делились на делянки второго порядка (фактор В), где размещали варианты срока некорневой обработ-



ки (в фазе 5 листьев кукурузы; в фазе 7-8 листьев кукурузы; двукратная обработка в фазе 5 и 7-8 листьев кукурузы). Объект исследований – раннеспелый (ФАО 190) гибрид кукурузы Ладожский 191 МВ, а в 2022 г. раннеспелый (ФАО 190) гибрид кукурузы Краснодарский 194 МВ.

Опыт 10. Влияние некорневой обработки посевов кремнийсодержащими удобрениями на продуктивность кукурузы при возделывании на зерно (2018-2022 гг.). Делянки первого порядка (фактор А), где располагали фоны с кремнийсодержащими удобрениями (без кремнийсодержащего удобрения (контроль); Келик Калий+Кремний (1,5 л/га); НаноКремний (150 г/га); Микровит-6 Кремний (1,0 л/га), делились на делянки второго порядка (фактор В), где размещали варианты срока некорневой обработки (в фазе 5 листьев кукурузы; в фазе 7-8 листьев кукурузы; двукратная обработка в фазе 5 и 7-8 листьев кукурузы). Объект исследований – раннеспелый (ФАО 190) гибрид кукурузы Ладожский 191 МВ, а в 2022 г. раннеспелый (ФАО 190) гибрид кукурузы Краснодарский 194 МВ.

Учетная площадь делянок в опытах 28-336 м<sup>2</sup>. Агротехника возделывания в опытах общепринятая для черноземных почв Пензенской области.

Фенологические наблюдения за фазами роста и развития растений, биометрические измерения, учет урожая и сопутствующие исследования проводились по Методическим рекомендациям по проведению полевых опытов с кукурузой (1960, 1967, 1980) и методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1971).

Формирование ассимиляционного аппарата, продолжительность работы листьев, фотосинтетический потенциал (ФП) и чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) рассчитывали по методике А.А. Ничипоровича (1965, 1966).

Учет засоренности по вегетирующим сорнякам проводили количественно-весовым методом (Доспехов Б.А. и др., 1987, Фитосанитарная диагностика, 1994; Фитоценологические методы, 2000; Методические указания, 2013).

Биологическую эффективность гербицида определяли по снижению численности сорных растений по модифицированной формуле Аббота (1925).

Влажность почвы определялась термостатно-весовым методом (Роде А.А., 1962).

Суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур за вегетацию рассчитывали методом водного баланса (Костяков А.Н., 1960).

Фотосинтетические пигменты (хлорофилл *a* и *b*) в листьях определяли по оптической плотности в вытяжке 96%-ным этанолом на спектрометре СФ-46 при длине волн 649 и 665 нм (Практикум..., 2003).

Целлюлозоразрушающую способность почвы определяли методом аппликаций по Е.Н. Мишустину-И.С. Вострову-А.Н. Петровой (Звягинцев Д.Г., 1991).

Уборку и учет урожая проводили вручную сплошным методом с пересчетом на сухое вещество, а зерно приводили к стандартной (14,0 %) влажности. Содержание абсолютно сухого вещества в зеленой массе определяли путем высушивания измельченных навесок в сушильном шкафу при температуре 105 °С. Измельченные навески зерна высушивали при 130 °С.

Анализы проводились в аккредитованной аналитической лаборатории ФГБУ ГЦАС «Пензенский», имеющей современное оборудование и инструментарий, прошедшие необходимую поверку, и действующие сертификаты соответствия, и

на кафедре переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ.

Определение общего азота и сырого протеина в растениях и зерне проводили по ГОСТ 13496.4-93, сырой золы – по ГОСТ 26226-95, сырой клетчатки – по ГОСТ 31675-2012, сырого жира – по ГОСТ 13496.15-2016, безазотистых экстрактивных вещества (БЭВ) – по разнице расчетным путем, фосфора – по ГОСТ 26657-97, калия - по ГОСТ 30504-97.

Выход кормовых единиц и переваримого протеина рассчитывали на основе данных полного зоотехнического анализа с учетом коэффициента переваримости по М.Ф. Томмэ (1964).

Концентрация обменной энергии в сухом веществе рассчитывалась на основе процентного содержания сырой клетчатки, сырого протеина, сырого жира и безазотистых экстрактивных веществ (Методические рекомендации по биоэнергетической оценке севооборотов и технологий выращивания кормовых культур, 1989; Справочник по кормопроизводству, 1994; ГОСТ Р 53903-2010).

Экономическая эффективность рассчитана по технологическим картам с использованием типовых норм, биоэнергетическая оценка дана по Е.В. Надежкиной с соавт. (2002), Э.Ф. Вафиной и П.Ф. Сутыгину (2016) и в соответствии с методическими рекомендациями, разработанными Г.А. Булаткиным (1986, 1991).

Математическая обработка экспериментальных данных проводилась методами дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов (Доспехов Б.А., 1985) с использованием программ: AGROS 2.09, Microsoft Excel 2010, Statistica 6.0.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **Агроэкологические аспекты защиты кукурузы от сорной растительности**

#### ***Изменение засоренности посевов кукурузы при применении гербицидов***

Одним из важнейших приемов повышения урожайности кукурузы является регламентированная борьба с сорняками с использованием химического метода, основанного на применении гербицидов.

Установлено, что по сравнению с вариантами без довсходового гербицида к первому учетному сроку (в фазе пяти листьев кукурузы) численность сорных растений в результате обработки Дуал Голд снизилась на агрофоне без удобрений на 56,6-64,1 %, а при применении минеральных удобрений биологическая эффективность составила 65,4-71,2 % (табл. 1). Масса сорных растений под воздействием довсходового гербицида снижалась в 2,4-3,2 раза. На неудобренном агрофоне при обработке посевов Элюмисом отмечена гибель 46,7-49,3 % малолетних сорняков, а на удобренном – 52,9-54,1 %. Соответственно численность многолетних сорняков при внесении минеральных удобрений снизилась на 78,3-85,0 %, в то время как на неудобренном фоне на 74,6-77,8 %.

Наибольшая биологическая эффективность наблюдалась на вариантах с комбинированным применением довсходового и послевсходового гербицидов: по сравнению с вариантами без гербицидов общая засоренность снижалась на 66,3-71,1 %.

При использовании послевсходового гербицида и сочетании его с довсходовой обработкой сухая масса сорных растений была в 4,9-7,5 раза меньше по сравнению с вариантами без гербицида, тогда как в вариантах с довсходовым гербицидом она снизилась лишь в 1,9-2,6 раза. В вариантах с регулятором роста гербицидный эффект был выше по сравнению с аналогичными без Циркона.

К моменту уборки кукурузы отмечена достаточно высокая биологическая эффективность Дуал Голд по влиянию на сеgetальную растительность – 61,7-65,0 %, а при опрыскивании послевсходовым гербицидом она была несколько больше – 64,5-71,8 % (табл. 1). Двукратная химическая прополка снижала засоренность на 56,0-63,5 % при биологической эффективности 72,2-76,4 %.

К уборке отмечено снижение сухой массы сорной растительности при обработке послевсходовым гербицидом и сочетании его с довсходовым гербицидом в 4,6-5,4 раза, тогда как в вариантах с Дуал Голд только в 2,0-2,3 раза по отношению к вариантам без гербицида. При использовании регулятора роста без гербицидов наметилась тенденция снижения массы сорняков.

Таблица 1 – Влияние средств химизации и регулятора роста на засоренность посева кукурузы, среднее за 2014-2018 гг.

Норма удобрения (фактор А)	Некорневая обработка Цирконом (фактор В)	Гербицид (фактор С)	Сорные растения					
			в фазе 5 листьев		через 21 сутки		перед уборкой	
			количество, шт/м <sup>2</sup>	сухая масса, г/м <sup>2</sup>	количество, шт/м <sup>2</sup>	сухая масса, г/м <sup>2</sup>	количество, шт/м <sup>2</sup>	сухая масса, г/м <sup>2</sup>
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	Без обработки Цирконом	Без гербицида	47,0	5,3	75,2	85,4	76,2	113,2
		Дуал Голд	18,6	2,4	38,8	36,1	49,2	56,1
		Элюмис	53,2	5,7	36,2	17,5	37,2	22,1
		Дуал Голд + Элюмис	20,4	2,3	25,4	11,4	33,6	21,0
	Обработка Цирконом	Без гербицида	54,0	6,2	77,2	64,5	79,2	118,6
		Дуал Голд	17,8	1,9	35,6	34,6	45,4	52,4
		Элюмис	58,0	6,6	36,2	10,9	35,6	24,2
		Дуал Голд + Элюмис	19,4	1,9	27,2	10,8	29,8	22,7
N <sub>120</sub> P <sub>100</sub> K <sub>60</sub>	Без обработки Цирконом	Без гербицида	61,0	6,5	84,6	95,7	86,6	137,4
		Дуал Голд	17,6	2,3	39,0	37,5	44,2	66,4
		Элюмис	60,6	6,1	36,0	25,0	41	27,8
		Дуал Голд + Элюмис	19,4	2,5	25,8	21,6	31,6	30,5
	Обработка Цирконом	Без гербицида	62,6	6,4	89,0	95,5	84,2	133,9
		Дуал Голд	19,6	2,4	40,2	37,1	41,6	62,0
		Элюмис	61,8	5,6	37,6	15,0	34,2	29,4
		Дуал Голд + Элюмис	21,6	2,7	25,8	13,7	33,0	28,9

### ***Динамика хлорофилла в листьях кукурузы в зависимости от приемов возделывания***

Согласно полученным в условиях опыта данным, содержание хлорофиллов в листьях кукурузы сильно зависело от вида применяемого гербицида.

Через семь суток после применения послевсходового гербицида в вариантах с Элюмис, как при однократной обработке, так и в комплексе с Дуал Голд, отмечено снижение светособирающих пигментов в листьях, хлорофилла *a* на неудобренном агрофоне на 24,5-30,0 %. Обработка Цирконом несколько стимулировала накопление фотосинтезирующих пигментов в листьях. При обработке только Элюмисом наблюдалось снижение накопления хлорофилла *a* на 4,5-5,8 %, тогда как содержание хлорофилла *b* было практически равным контролю. Двойная химическая прополка на удобренном агрофоне приводила к значительному снижению накопления основного хлорофилла *a* и суммы пигментов – на 18,8-28,1% и антистрессового эффекта Циркона не выявлено.

Через 21 сутки после применения гербицида Элюмис растения в значительной степени восстановили свой фотохимический статус. В вариантах без регулятора роста содержание хлорофилла *a* превышало контроль на 51,2-54,8 %, а на фоне обработки Цирконом прибавка составила 38,5-41,7 %. На удобренном агрофоне без применения регулятора роста содержание хлорофилла *a* возросло по сравнению с вариантом без химической прополки на 9,2-10,0 %, а на фоне антистрессанта – на 16,5-19,1. Соотношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* при проведении химической прополки на неудобренном агрофоне без регулятора роста составило 1,51-1,84 : 1 (на контроле 1,12 : 1), тогда как при использовании регулятора роста 1,73-1,92 : 1. При внесении удобрений в вариантах с гербицидами соотношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* по сравнению с неудобренным агрофоном увеличилось, а относительно вариантов без гербицида становилось уже.

### ***Зерновая продуктивность агроценоза в зависимости от приемов возделывания***

Проведенными исследованиями не выявлено какого-либо значимого преимущества довсходового или послевсходового применения гербицида по влиянию на озерненность початка, независимо от кратности обработок и уровня корневого питания она увеличилась на 10,8-15,1 % (табл. 2). Применение в комбинации с гербицидами антистрессанта приводило к более эффективному протеканию продукционного процесса кукурузы, о чем свидетельствует повышение озерненности початка в среднем на 1,4-7,6 %. На удобренном агрофоне за счет химической прополки прирост урожайности составил 53,8-69,0 %, с сохранением тенденции положительного действия Циркона.

Во все годы исследований большая эффективность отмечена при бинарном использовании гербицидов.

Таблица 2 – Влияние средств химизации на формирование урожайности зерна кукурузы, 2014-2018 гг.

Норма удобрения (фактор А)	Некорневая обработка Цирконом (фактор В)	Обработка гербицидами (фактор С)	Число зерен в початке, шт.	Масса зерна с початка, г	Выход зерна с початка, %	Урожайность, т/га
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	Без препарата (обработка водой)	Без гербицида	285	37,4	71,8	2,57
		Дуал Голд	318	52,9	73,0	3,98
		Элюмис	318	52,2	73,3	3,92
		Дуал Голд +Элюмис	328	55,9	73,9	4,24
	Обработка Цирконом	Без гербицида	296	39,5	71,8	2,84
		Дуал Голд	328	55,2	73,1	4,15
		Элюмис	331	56,1	73,4	4,23
		Дуал Голд +Элюмис	340	58,7	73,6	4,53
N <sub>120</sub> P <sub>104</sub> K <sub>60</sub>	Без препарата (обработка водой)	Без гербицида	356	49,6	73,4	3,78
		Дуал Голд	393	69,5	75,3	6,02
		Элюмис	392	68,9	75,7	5,96
		Дуал Голд +Элюмис	402	73,0	76,3	6,39
	Обработка Цирконом	Без гербицида	361	51,6	73,4	4,16
		Дуал Голд	402	73,3	75,5	6,40
		Элюмис	404	74,1	75,8	6,43
		Дуал Голд +Элюмис	413	78,2	77,1	6,95
НСР <sub>05</sub> т/га: факторы А, В – 0,165-0,384; фактор С – 0,203-0,338; взаимодействие АВ – 0,253; взаимодействие АС – 0,285-0,360; взаимодействие ВС – 0,360; взаимодействие АВС – 0,360; частных различий – 0,181-0,444.						

***Средства химизации и регулятор роста как факторы регулирования водопотребления кукурузы***

В лесостепи Среднего Поволжья дефицит влаги является основным лимитирующим фактором в формировании высоких урожаев сельскохозяйственных культур, в том числе и кукурузы. Установлено, что на удобренном агрофоне, несмотря на большой расход влаги за вегетацию, она использовалась растениями более экономно. Коэффициент водопотребления снижался на 147-203 м<sup>3</sup>/т или 21,5-28,7 %. Улучшение фитосанитарного состояния посевов снижало коэффициент водопотребления на неудобренном агрофоне на 27,0-32,1 %, причем лучшие результаты получены без дополнительной обработки Цирконом. На удобренном фоне экономия влаги составила 30,0-34,4 %, здесь лучшие показатели получены при обработке регулятором роста. Эффективность Циркона была несколько выше на неудобренном фоне, где отмечено снижение коэффициента водопотребления на 24-53 м<sup>3</sup>/т или 4,1-6,8 %, а при внесении минеральных удобрений экономия составила 22-29 м<sup>3</sup>/т или 4,2-5,9 %. Не выявлено значимых преимуществ по влиянию на затраты

влаги на формирование единицы товарной продукции в зависимости от вида и кратности применения гербицидов.

**Оптимизация густоты растений в зависимости  
от уровня минерального питания  
Формирование урожайности и кормовая ценность зеленой массы  
кукурузы**

Площадь листовой поверхности растений на единице площади посева является важным показателем, характеризующим возможную продуктивность кукурузы. Измерение площади листьев показало, что к фазе молочно-восковой спелости наибольшая площадь листовой поверхности сформировалась на удобренных вариантах, с небольшим преимуществом дробного внесения азота (табл. 3).

Таблица 3 – Фотосинтетическая деятельность посевов кукурузы в зависимости от приемов возделывания, среднее за 2015-2018 гг.

Доза удобрения (фактор А)	Густота растений (фактор В), тыс. шт./га	Средняя площадь листьев, тыс. м <sup>2</sup> /га	ЧПФ, г/м <sup>2</sup> ·сут.	ЧПФ, г/м <sup>2</sup> ·сут.
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	60	11,57	1,177	8,64
	70	13,62	1,386	7,44
	80	14,75	1,502	6,98
	90	15,29	1,566	6,48
	100	15,75	1,613	6,40
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub>	60	14,25	1,454	8,09
	70	16,48	1,684	7,23
	80	17,97	1,835	6,66
	90	19,61	2,005	6,01
	100	20,76	2,124	5,85
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> +N <sub>30</sub>	60	14,91	1,526	8,46
	70	16,52	1,687	7,74
	80	18,74	1,916	6,80
	90	19,22	1,965	6,29
	100	20,88	2,136	5,89
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>60</sub>	60	14,23	1,451	9,29
	70	16,52	1,685	8,41
	80	18,35	1,872	7,50
	90	19,77	2,015	6,97
	100	21,64	2,208	6,24

На фоне N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>+N<sub>30</sub> площадь листьев увеличилась в среднем на 36,7 % в сравнении с неудобренным фоном, на фоне N<sub>120</sub>P<sub>90</sub> – на 31,0 %, а при применении N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>60</sub> – на 27,9 %. На неудобренном фоне прирост площади листьев наблюдается до густоты растений 90 тыс. шт./га, при внесении минеральных удобрений интенсивность прироста снижается, но сохраняется практически до максимального загущения.

Использование различных доз и сочетаний минеральных удобрений обусловило рост величины суммарного фотосинтетического потенциала (ФП) на 25,7-27,5 % (табл. 3). Размер ФП повышался с увеличением густоты растений, однако при загущении более 70 тыс. шт./га темпы прироста замедлялись. Так, на неудобренном агрофоне при увеличении густоты растений с 60 до 70 тыс. шт./га величина ФП возросла на 17,7 %, а при дальнейшем загущении на каждые 10 тыс. шт./га прирост не превышал 3,0-8,4 %. В вариантах с минеральными удобрениями наибольшее увеличение ФП (на 10,6-16,2 %), также отмечено при загущении до 70 тыс. шт./га. С дальнейшим увеличением густоты растений ФП повышался на 2,5-9,6 %.

Загущение посевов негативно повлияло на продуктивность фотосинтеза, ЧПФ снижалась на 25,9-32,9 % (табл. 3). Следует отметить, что на неудобренном фоне наибольшее снижение наблюдалось при увеличении густоты растений до 70 тыс. шт./га, при применении минеральных туков значительное снижение продуктивности фотосинтеза отмечено при увеличении густоты с 70 до 80 тыс. шт./га.

Регрессионный анализ экспериментальных данных показал, что при увеличении густоты стояния с 60 до 100 тыс. шт./га масса одного растения снижается с 670 до 470 г с достоверностью в 91,5 % (рис. 1). При этом увеличение густоты растений в интервале 60-100 тыс. шт./га на каждые 10 тыс. шт./га способствует снижению массы одного растения на 58-62 г.

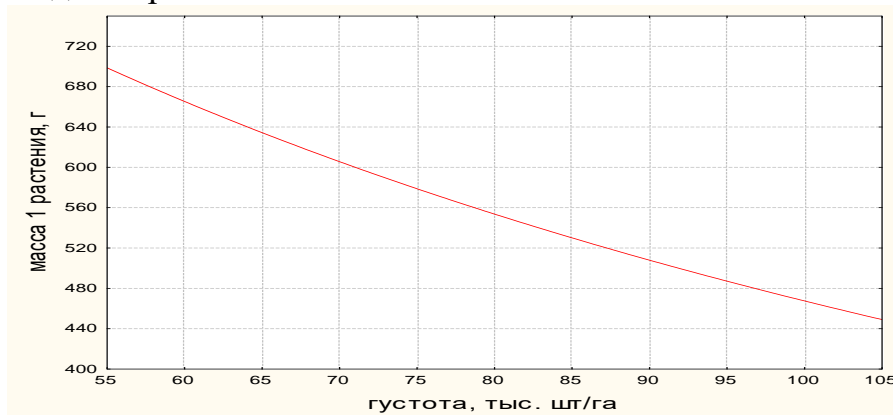


Рисунок 1 – Зависимость средней массы одного растения кукурузы от густоты растений

Взаимосвязь между массой растения кукурузы ( $y$ ) и густотой растений перед уборкой ( $x$ ) выражалась уравнением следующего вида:  $y = 1745,6 + 5,171x - 179,51x^{0,5}$   $r^2 = 0,915$ .

Более мощные растения были получены при перенесении части азотных удобрений в корневую подкормку, в среднем прирост составил 49,8 %.

Дробное внесение азотных удобрений увеличивало сбор початков на 56,5 % по сравнению с неудобренным фоном, на 18,7 и 7,1 % соответственно, по отношению к вариантам с внесением  $N_{120}P_{90}K_{60}$  и  $N_{120}P_{90}$  (рис. 2).

На агрофоне без удобрений и при внесении азотно-фосфорных удобрений прирост урожайности початков с обертками отмечен до густоты 70 тыс. шт./га. На фоне проведения азотной подкормки и внесения  $N_{120}P_{90}K_{60}$  прирост генеративных органов отмечен до густоты 80 тыс. шт./га. При дальнейшем загущении урожайность початков снижалась, соответственно густоте стояния, на 8,2 и 6,5 %.

Наибольшая урожайность фитомассы получена при дробном внесении азотных удобрений (рис. 2).

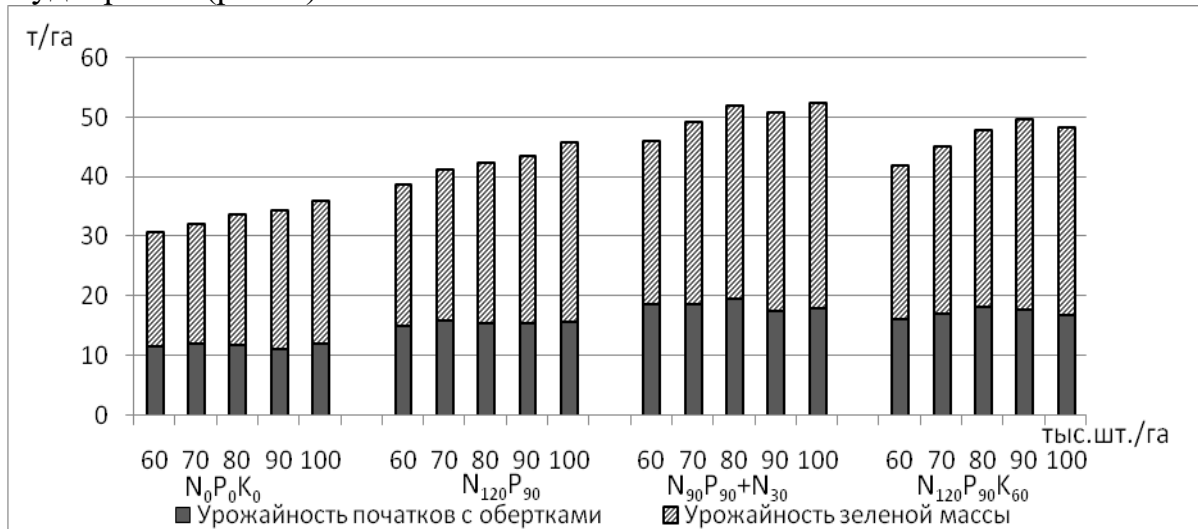
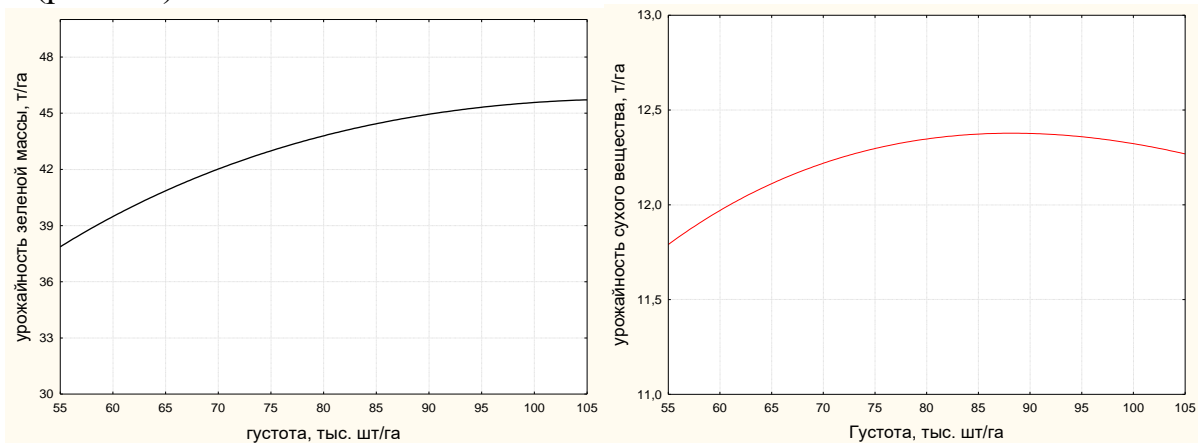


Рисунок 2 – Урожайность зеленой массы кукурузы и початков с обертками, среднее за 2015-2018 гг.

НСР<sub>05</sub>, т/га, зеленая масса: по фактору А – 0,597-1,248; по фактору В – 0,668-1,395;  
НСР<sub>05</sub>, т/га, початки: по фактору А – 0,222-0,308; по фактору В – 0,248-0,341.

Урожайность зеленой массы в интервале густоты 60-80 тыс. шт./га возрастает при увеличении густоты на 10 тыс. растений на 2,6-2,5 т/га, а в интервале 80-100 тыс. – на 1,1-1,6 т/га (рис. 3 а).

Что касается сбора сухого вещества, то оптимальной густотой для данного показателя является интервал 80-90 тыс. шт./га, так как при снижении густоты ниже 80 тыс. шт./га, так и при повышении свыше 90 тыс. шт./га урожайность снижается (рис. 3 б).



$$\begin{array}{ll}
 \text{а} & \text{б} \\
 y = -47,12 - 0,848x + 17,75 x^{0,5} & r^2 = 0,891 \text{ (а)} \\
 y = -0,866 - 0,150x + 2,820x^{0,5} & r^2 = 0,933 \text{ (б)}
 \end{array}$$

Рисунок 3 – Урожайность зеленой массы (а) и сухого вещества (б) кукурузы в зависимости от густоты растений

Адекватность полученных уравнений регрессии составляет 89,1-93,3%.



По сбору переваримого протеина варианты с азотной подкормкой имели незначительное преимущество перед более сбалансированной системой питания, прибавка на этих фонах составила 77,2 и 71,6 %. При разовом внесении всей дозы азотно-фосфорных удобрений сбор переваримого протеина увеличился на 45,9 %.

Зависимость сбора переваримого протеина ( $y$ ) от густоты растений перед уборкой ( $x$ ) аппроксимировалась уравнением:  $y = -1460 - 27,57x + 479x^{0,5}$  с коэффициентом детерминации  $r^2 = 0,968$  (рис. 4 а). Решение уравнений показывает, что сбор переваримого протеина интенсивно возрастает при увеличении густоты стояния с 60 до 75 тыс. шт./га, а затем снижается.

Выход кормовых единиц ( $y$ ) довольно тесно связан с густотой растений ( $x$ ), коэффициент корреляции 0,826 (рис. 4 б). Уравнение взаимосвязи имело вид:  $y = 2,940 - 0,101x + 1,844x^{0,5}$ . Нелинейная зависимость показывает, что сбор кормовых единиц увеличивается до густоты растений 80 тыс. шт./га, затем он стабилизируется на одном уровне, а при достижении густоты 90 тыс. шт./га и больше, начинает снижаться. Индекс детерминации ( $r^2 = 0,826$ ) показывает, что 82,6 % вариации выхода кормовых единиц объясняется вариацией густоты растений, а 17,4 % приходится на долю прочих факторов.

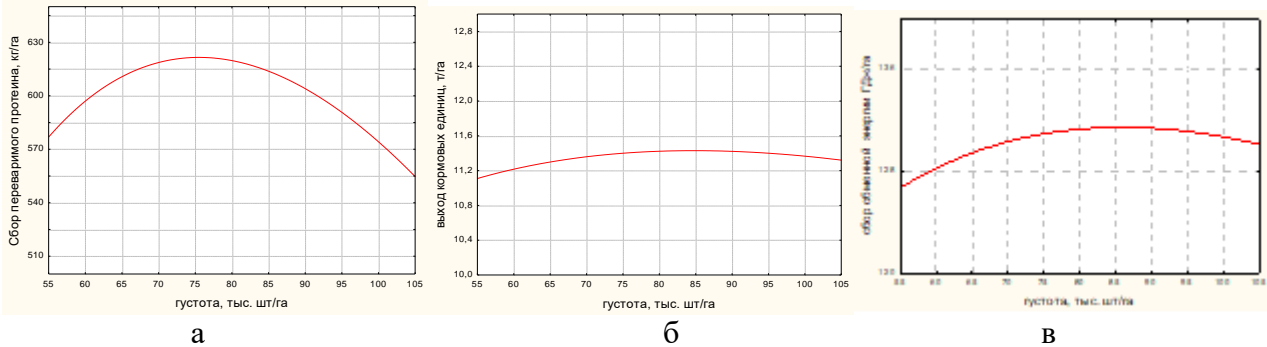


Рисунок 4 – Зависимость сбора переваримого протеина (а), кормовых единиц (б) и обменной энергии (в) от густоты растений перед уборкой

Установлена тесная взаимосвязь между выходом обменной энергии ( $y$ ) и густотой растений перед уборкой ( $x$ ), которая аппроксимировалась нелинейным уравнением:  $y = 11,51 - 1,398x + 25,90x^{0,5}$  при коэффициенте детерминации  $r^2 = 0,871$  (рис. 4 в). Нелинейная зависимость показывает, что выход обменной энергии увеличивается до густоты стояния 80 тыс. шт./га, а при достижении густоты 85 тыс. шт./га и выше он начинает снижаться.

### ***Формирование зерновой продуктивности кукурузы в зависимости от уровня минерального питания и густоты растений***

С увеличением густоты растений кукурузы отмечено снижение массы зерна одного початка. Увеличение загущенности стеблестоя с 60 до 80 тыс. шт. на 1 га приводило к снижению массы зерна на 14,6-17,8 %, причем в большей степени это проявилось на фоне  $N_{120}P_{90}$ . При увеличении густоты до 100 тыс. шт./га масса зерна снижалась на 30,0-33,1 %. Большой сбор зерна получен при применении азотной подкормки и внесении удобрений в дозе  $N_{120}P_{90}K_{60}$ , прибавка составила 1,73-1,74 т/га или 46,2-46,6 % продукции (табл. 4).

Таблица 4 – Урожайность зерна кукурузы, т/га

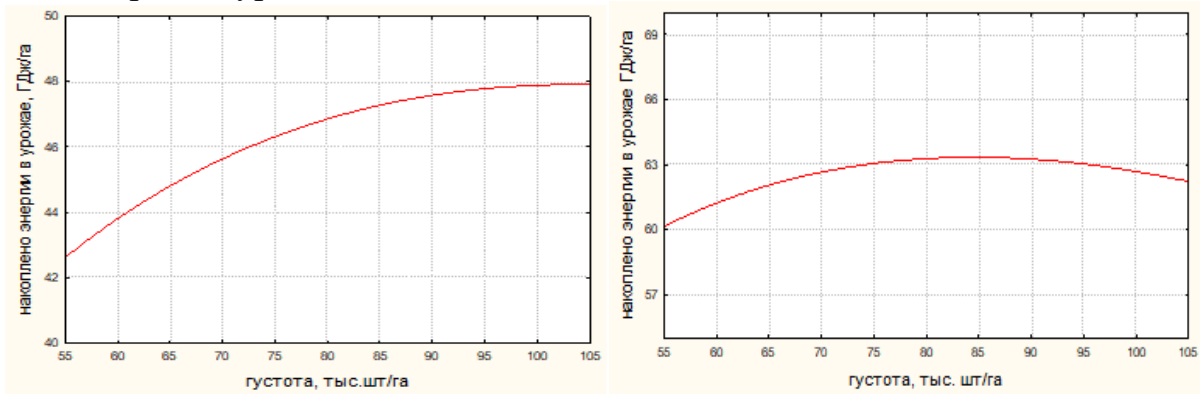
Доза удобрения (фактор А)	Густота растений (фактор В), тыс. шт./га	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Среднее за четыре года
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	60	3,34	4,82	3,38	2,29	3,46
	70	3,56	5,24	3,59	2,33	3,68
	80	4,00	4,97	3,88	2,52	3,84
	90	3,91	5,29	3,64	2,42	3,82
	100	4,14	5,49	3,51	2,39	3,88
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub>	60	5,01	7,13	4,65	2,83	4,91
	70	5,22	6,94	5,06	3,22	5,11
	80	5,54	6,96	4,84	2,97	5,08
	90	5,78	7,33	4,25	2,75	5,03
	100	5,94	7,54	4,09	2,71	5,07
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> +N <sub>30</sub>	60	6,38	7,74	4,32	2,66	5,28
	70	6,78	7,67	4,76	3,09	5,58
	80	6,86	8,38	4,51	2,94	5,67
	90	6,82	7,81	4,24	2,45	5,33
	100	6,96	8,07	4,07	2,72	5,46
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>60</sub>	60	5,87	7,54	4,95	2,94	5,33
	70	6,27	7,64	5,56	3,31	5,69
	80	6,64	7,87	5,63	3,10	5,81
	90	5,97	7,91	4,36	2,99	5,31
	100	6,49	7,16	4,35	2,99	5,25
НСР <sub>05</sub> (2015 г.) т/га: по фактору А – 0,146; по фактору В – 0,164; по взаимодействию АВ – 0,327						
НСР <sub>05</sub> (2016 г.) т/га: по фактору А – 0,183; по фактору В – 0,208; по взаимодействию АВ – 0,452						
НСР <sub>05</sub> (2017 г.) т/га: по фактору А – 0,151; по фактору В – 0,175; по взаимодействию АВ – 0,341						
НСР <sub>05</sub> (2018 г.) т/га: по фактору А – 0,113; по фактору В – 0,101; по взаимодействию АВ – 0,226						

Выявлена зависимость высокой тесноты урожайности зерна кукурузы (у) с густотой стеблестоя, коэффициент детерминации составил 0,895. Нелинейная зависимость аппроксимировалась уравнением вида:  $y = -9,47 - 0,180x + 3,232x^{0,5}$ . Она показывает, что урожайность зерна снижается с увеличением густоты стояния растений свыше 80 тыс. шт./га, особенно интенсивное снижение отмечено с увеличением густоты растений от 85 до 100 тыс. шт./га.

Качество зерна кукурузы находится в прямой зависимости от густоты растений. Уравнение нелинейной связи, характеризующее взаимосвязь выхода обменной энергии (у) с густотой растений (х) на неудобренном агрофоне, имело вид полинома:  $y = -24,01 - 0,695x + 14,13x^{0,5}$  при индексе детерминации 0,938 (рис. 5 а). Нелинейная зависимость показывает, что максимальный выход обменной энергии в этом случае формируется при росте густоты стояния кукурузы до 100 тыс. шт./га, а затем стабилизируется.

При предпосевном внесении азотно-фосфорных удобрений рост выхода обменной энергии прослеживается до густоты 80 тыс. шт./га, а при большем загущении стеблестоя отмечается снижение. Выявленная взаимосвязь описывается нелинейным уравнением вида:  $y = -22,09 - 1,011x + 18,59x^{0,5}$ , при высоком коэффициенте детерминации ( $r^2 = 0,895$ ) (рис. 5 б). Решение уравнений показывает, что при за-

гущении посева свыше 80 тыс. шт./га на каждые последующие 10 тыс.шт./га накопление энергии в урожае снижается на 0,016-0,573 ГДж/га.

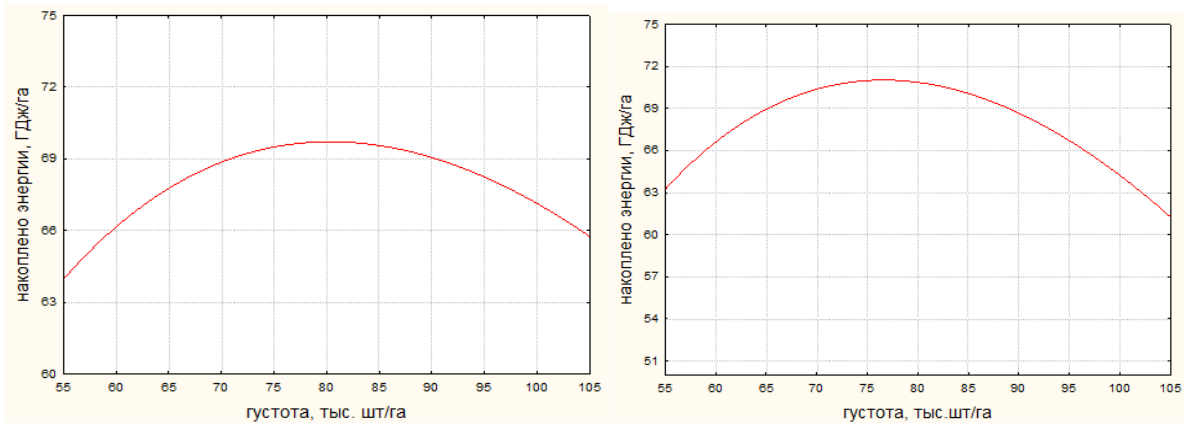


а

б

Рисунок 5 – Выход обменной энергии в зависимости от густоты растений:  
а – на фоне  $N_0P_0K_0$ , б – на фоне  $N_{120}P_{90}$

Перенесение части азота в подкормку изменило характер накопления обменной энергии. Взаимосвязь выхода обменной энергии ( $y$ ) от густоты растений ( $x$ ) характеризовалась коэффициентом детерминации 0,928. Нелинейное уравнение имело вид:  $y = -123,5 - 2,405x + 43,12x^{0,5}$  (рис. 6 а). Выход обменной энергии увеличивался до густоты стояния 80 тыс.шт./га. Увеличение густоты растений в интервале 80-100 тыс.шт./га сопровождалось снижением накопления обменной энергии урожаем на 0,63-1,93 ГДж/га на каждые 10 тыс. шт./га.



а

б

Рисунок 6 – Влияние густоты растений на выход обменной энергии:  
а – на фоне  $N_{90}P_{90} + N_{30}$ , б – на фоне  $N_{120}P_{90}K_{60}$

Математическая обработка полученных четырехлетних экспериментальных данных при возделывании кукурузы с внесением полного минерального удобрения показала тесную зависимость выхода обменной энергии от густоты растений, индекс детерминации 0,963. Взаимосвязь аппроксимировалась нелинейным уравнением вида:  $y = -263,2 - 4,364x + 76,38x^{0,5}$ . Графическая интерпретация полученного уравнения, представленная на рисунке 6 б, наглядно свидетельствует, что выход обменной энергии возрастает при увеличении густоты стеблестоя в интервале 60-

80 тыс. шт./га, а при дальнейшем загущении до 90-100 тыс. шт./га отмечается резкое снижение накопления обменной энергии в урожае зерна кукурузы.

### Роль регуляторов роста в формировании урожайности и качества зерна кукурузы

Повышение устойчивости к абиотическим факторам и реализация максимальной продуктивности могут быть осуществлены при использовании регуляторов роста растений. Как свидетельствуют полученные результаты, по сбору зерна на всех уровнях минерального питания наиболее эффективным было применение регулятора роста растений Plagron Vita Race, позволившее получить дополнительно 10,1-13,5 % продукции (рис. 7). Немного уступает по эффективности вариант с фолиарной обработкой Цирконом, обеспечившим получение прибавки зерна на удобренном агрофоне 0,43 т/га или 11,9 %, а на удобренном фоне 0,37 т/га или 6,9 % по отношению к варианту без регулятора роста.

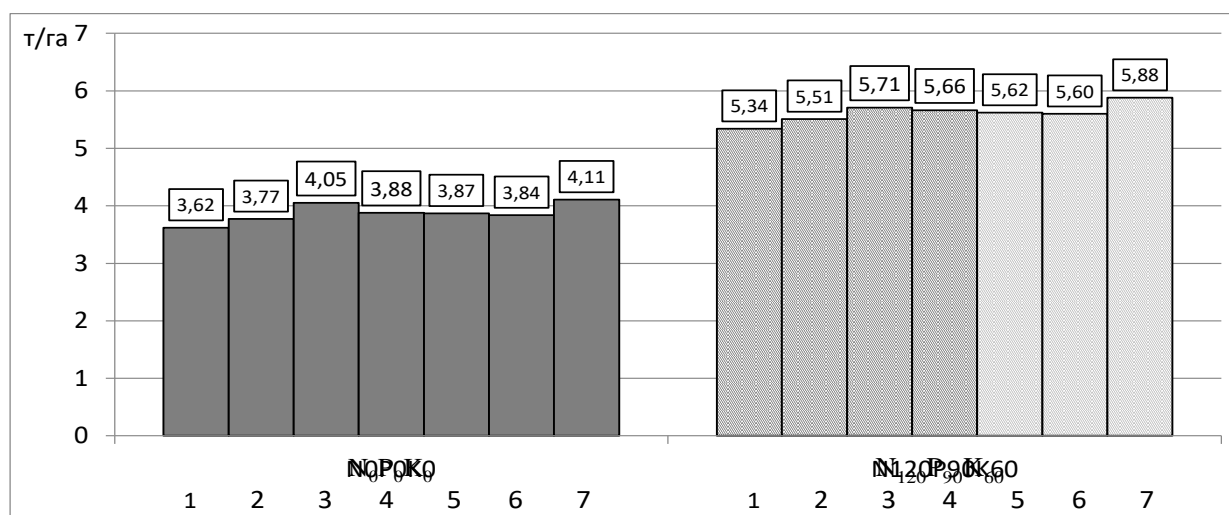


Рисунок 7 – Урожайность зерна кукурузы, среднее за 2014-2016 гг.

Примечание: 1–Без регулятора; 2–Эпин-экстра; 3–Циркон; 4–Рибав-экстра;

5–АгроСтимул; 6–Агростимулин; 7–Plagron Vita Race

НСР<sub>05</sub>, т/га: по фактору А – 0,071-0,108; по фактору В – 0,134-0,203.

Во все годы исследований лучше антистрессовые свойства регуляторов роста проявлялись на удобренном агрофоне. По выходу обменной энергии с единицы площади преимущество за вариантами на удобренном агрофоне. Рост выхода обменной энергии зависел от урожайности зерна и, лишь в незначительной степени, от вида рострегулирующего препарата. Наибольшим выходом обменной энергии на удобренном агрофоне отличился вариант с регулятором роста Агростимул – прибавка к контролю составила 25,3 %. На удобренном агрофоне лучшим был вариант с обработкой посевов Plagron Vita Race, прирост к варианту с водой составил 10,1 %.

**Совершенствование системы удобрения кукурузы**  
**Роль комплексных удобрений с микроэлементами в формировании**  
**урожайности и качества зеленой массы кукурузы**

В системе питания растений отводят значительное место совместному применению макро- и микроэлементов, которые стимулируют фотосинтетическую деятельность, повышают урожайность, улучшают качество продукции и сокращают сроки созревания. Установлено, что внесение азотно-фосфорных и полного минерального удобрений позволило увеличить ФП посева на 29,4 и 25,5 % соответственно по сравнению с фоном без удобрения (табл. 5).

На неудобренном агрофоне комплексные удобрения с микроэлементами повышали величину ФП на 7,2-17,0 %. При внесении азотно-фосфорных удобрений наибольший ФП сформирован при некорневой обработке ЭкоФусом и Цитовитом, прирост по отношению к варианту с обработкой водой составил 8,5-15,3 %, а на фоне  $N_{120}P_{90}K_{60}$  рост величины суммарного ФП составил 178-318 тыс.  $m^2/га$  дн., что превышает контроль на 10,4-18,5 %.

Таблица 5 – Фотосинтетическая деятельность кукурузы  
в зависимости от условий минерального питания, среднее за 2015-2017 гг.

Норма удобрения (фактор А)	Некорневая обработка комплексными удобрениями (фактор В)	Средняя площадь листьев, тыс. $m^2/га$	ФП, млн. $m^2/га \cdot сут$	ЧПФ, $г/м^2 \cdot сут.$
$N_0P_0K_0$	Контроль (обработка водой)	13,74	1,387	8,3
	ЭкоФус	16,08	1,623	8,3
	Грин-Го	14,99	1,512	7,7
	Силиплант универсальный	15,15	1,527	8,1
	Гумостим	15,66	1,581	8,4
	Цитовит	15,04	1,516	9,4
	Гумат+7В	14,75	1,487	8,8
$N_{120}P_{90}$	Контроль (обработка водой)	18,35	1,852	8,5
	ЭкоФус	21,19	2,135	8,3
	Грин-Го	19,68	1,985	8,2
	Силиплант универсальный	19,83	1,1195	7,8
	Гумостим	19,85	2,003	8,5
	Цитовит	19,98	2,010	8,8
	Гумат+7В	17,73	1,784	9,5
$N_{120}P_{90}K_{60}$	Контроль (обработка водой)	17,03	1,714	9,1
	ЭкоФус	19,40	1,950	9,6
	Грин-Го	18,72	1,891	9,2
	Силиплант универсальный	20,16	2,032	8,3
	Гумостим	18,31	1,972	8,9
	Цитовит	18,78	1,892	9,4
	Гумат+7В	18,84	1,898	9,3

При применении  $N_{120}P_{90}$  ЧПФ увеличивалась на 1,2 %, а при внесении полного минерального удобрения – на 8,4 % по сравнению с фоном без макроудобрений (табл. 5). На неудобренном фоне лишь фолиарная обработка Цитовитом улучшала ассимилирующую способность листьев – величина ЧПФ возросла на

13,2 %. На фоне азотно-фосфорного удобрения отмечено улучшение работы листового аппарата, при обработке Гумат+7В и Цитовитом ЧПФ возросла на 3,5-11,7 %. На фоне полного минерального питания тенденция роста ЧПФ отмечена при применении ЭкоФуса, Грин-Го, Цитовита и Гумат+7В – на 1,1-5,5 %.

Комплексные удобрения стимулировали прирост фитомассы, однако их влияние было слабее, чем макроудобрений (рис. 8). На всех агрофонах лучшие показатели зафиксированы при некорневой обработке Цитовитом, прирост к вариантам без комплексного удобрения составил 15,8-16,5 %. На втором месте по эффективности оказалась обработка ЭкоФусом, получена прибавка зеленой массы 11,6-14,9 %. Следует отметить, что лучше комплексные удобрения проявили себя на неудобренном агрофоне и при внесении полного минерального удобрения.

По сбору початков на неудобренном агрофоне лучшим был вариант с Цитовитом, обеспечивший прибавку початков 6,2 т/га (рис. 8). Немного уступили ему варианты с ЭкоФусом и Грин-Го, где получен прирост 27,2-29,6 %. На фоне  $N_{120}P_{90}$  выделился вариант с обработкой ЭкоФусом, масса початков возросла на 22,9 % по сравнению с 2,7-13,1 % от использования других удобрений с микроэлементами. На фоне полного минерального удобрения наибольшую прибавку початков с обертками получили при фолитарной обработке посевов ЭкоФусом и Цитовитом – 5,2-5,7 т/га или 31,3-34,3 % к вариантам без микроудобрений.

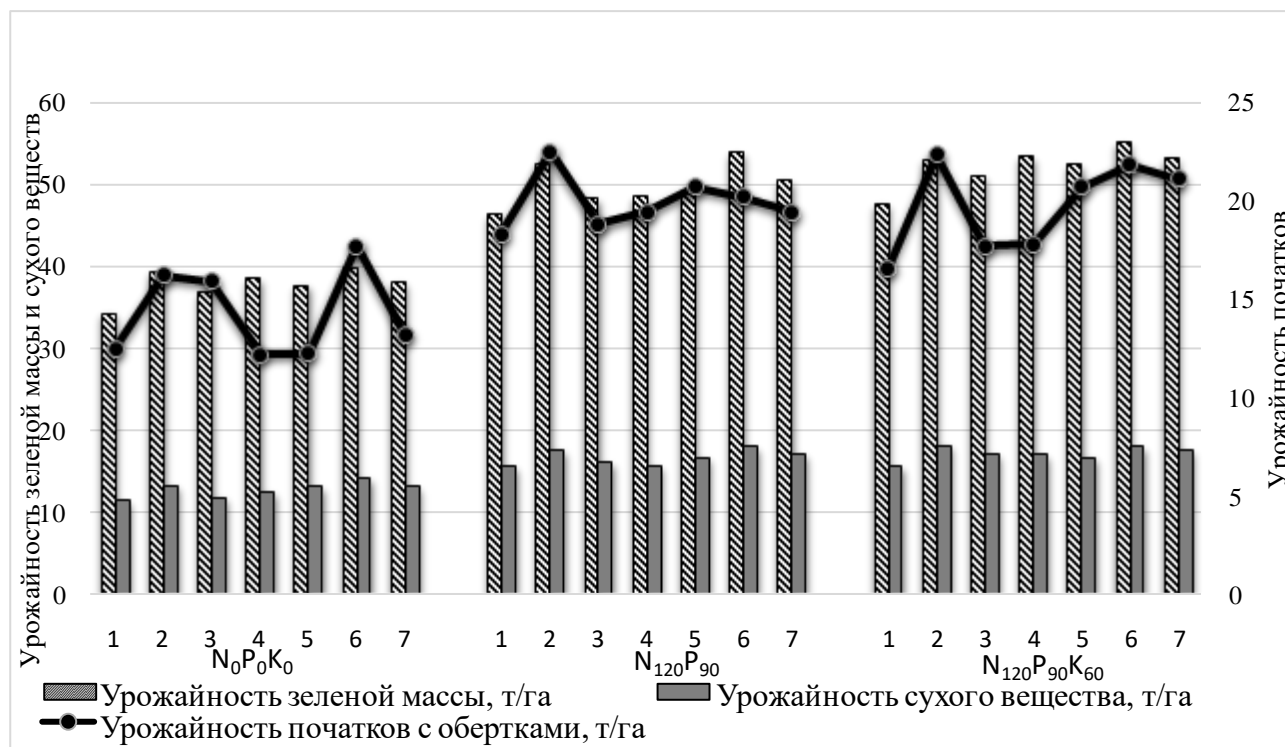


Рисунок 8 – Урожайность кукурузы, среднее за 2015-1017 гг.

Примечание: 1–Контроль (обработка водой); 2–ЭкоФус; 3–Грин-Го; 4–Силиплант универсальный; 5–Гумостим; 6–Цитовит; 7–Гумат+7В

НСР<sub>05</sub> т/га, зеленая масса: по фактору А – 0,68-0,99; по фактору В – 1,04-1,52; по фактору взаимодействия АВ – 1,80-2,63;

НСР<sub>05</sub> т/га, сухое вещество: по фактору А – 0,24-0,31; по фактору В – 0,37-0,48; по фактору взаимодействия АВ – 0,64-0,83.

Все изучаемые комплексные удобрения стимулировали прирост сухой био-

массы (рис. 8). Обработка посевов ЭкоФусом и Цитовитом способствовала большему приросту сухого вещества – 16,9-25,0 % на фоне без удобрений, а при внесении минеральных удобрений – 13,0-16,9 %. Но во все годы исследований на удобренном агрофоне не выявлено положительного влияния комплексных удобрений с микроэлементами на концентрацию сухих веществ в фитомассе.

От применения комплексных удобрений с микроэлементами сбор протеина увеличивался на 6,5-26,5 % (табл. 6).

Таблица 6 – Кормовая ценность кукурузы в зависимости от вида комплексного удобрения, среднее за 2015-2017 гг.

Норма удобрения (фактор А)	Некорневая обработка комплексными удобрениями (фактор В)	Сбор переравимо-го протеина, кг/га	Выход кормовых единиц, т/га	Обменная энергия, ГДж /га	Обеспеченность переравимым протеином 1 корм.ед., г
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	Контроль (обработка водой)	434	10,2	117,4	42,55
	ЭкоФус	536	11,8	137,4	45,42
	Грин-Го	461	10,7	119,7	43,08
	Силиплант универсальный	506	11,8	133,3	42,88
	Гумостим	538	11,6	134,9	46,38
	Цитовит	549	12,5	146,2	43,92
	Гумат+7В	530	11,6	135,3	45,69
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub>	Контроль (обработка водой)	714	14,4	164,8	49,58
	ЭкоФус	851	15,5	180,7	54,90
	Грин-Го	782	14,9	170,4	67,11
	Силиплант универсальный	765	14,7	168,4	52,04
	Гумостим	767	15,5	175,4	49,48
	Цитовит	865	16,8	190,3	51,49
	Гумат+7В	896	16,0	182,3	56,00
N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>60</sub>	Контроль (обработка водой)	744	14,6	168,3	50,96
	ЭкоФус	902	16,6	191,4	54,34
	Грин-Го	821	15,9	182,4	52,97
	Силиплант универсальный	844	15,6	179,7	54,10
	Гумостим	800	15,4	175,8	51,95
	Цитовит	906	16,8	191,2	53,93
	Гумат+7В	879	15,9	183,8	55,28
НСР <sub>05</sub> (2015) по фактору А		11,4	0,24	2,82	
по фактору В		17,5	0,37	4,31	
по взаимодействию АВ		30,3	0,64	7,46	
НСР <sub>05</sub> (2016) по фактору А		13,8	0,32	3,56	
по фактору В		21,0	0,49	5,44	
по взаимодействию АВ		36,4	0,86	9,43	
НСР <sub>05</sub> (2017) по фактору А		14,0	0,19	2,40	
по фактору В		21,0	0,30	3,67	
по взаимодействию АВ		37,0	0,53	6,36	

Некорневая обработка удобрениями с микроэлементами способствовала получению большего выхода обменной энергии, по сравнению с вариантами без foliarной обработки посевов прибавка составила 3,4-15,5 % на удобренном агрофоне и 13,5-24,5 % – на неудобренном. На всех изучаемых агрофонах по выходу обменной энергии выявлено преимущество некорневой обработки Цитовитом. Немного уступает ему по эффективности применение ЭкоФуса.

Во все годы проведения опыта листовая подкормка комплексными удобрениями с микроэлементами не способствовало повышению питательности корма. Но по выходу кормовых единиц на всех уровнях корневого питания преимущество за вариантом с обработкой посевов Цитовитом. Прирост к контролю изменялся от 22,5 % на неудобренном агрофоне, до 15,0-16,7 % – при внесении удобрений. Следует отметить, что полученная прибавка к варианту с обработкой водой в значительной степени обусловлена получением большей урожайности биомассы.

Как показали результаты исследований, большее влияние на обеспеченность кормовой единицы переваримым протеином оказали макроудобрения, способствующие повышению протеиновой обеспеченности до 49,58-67,11 г, по сравнению с 42,55-46,38 г – на агрофоне без удобрений. При foliarной обработке посевов комплексными удобрениями с микроэлементами наметилась лишь тенденция улучшения протеиновой обеспеченности кормовой единицы.

### Формирование урожайности и качества зерна кукурузы

Применение удобрений с микроэлементами оказало влияние на сбор зерна. По всем уровням корневого питания прослеживается преимущество использования Цитовита, позволившее увеличить урожайность зерна на 12,1-15,2 %. Немного уступил ему по эффективности Силиплант универсальный, где получена прибавка 9,8-12,8 % (рис. 9).

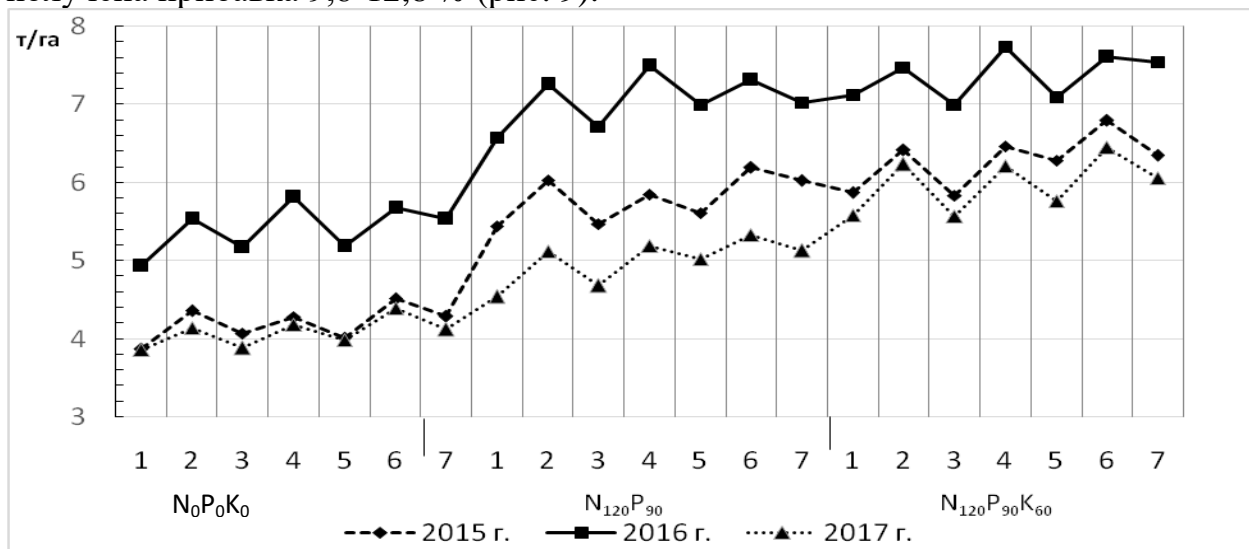


Рисунок 9 – Комплексные удобрения и урожайность зерна кукурузы

Примечание: 1–Контроль (обработка водой); 2–ЭкоФус; 3–Грин-Го; 4–Силиплант универсальный; 5–Гумостим; 6–Цитовит; 7–Гумат +7В  
НСР<sub>05</sub>, т/га: по фактору А – 0,090-0,118; по фактору В – 0,138-0,180.



Максимальный выход сырого протеина на всех уровнях минерального питания получен при применении Силипланта универсального, Цитовита и Гумат+7В. Прирост к вариантам без удобрений с микроэлементами составил 78-139 кг/га или 15,4-20,1 %. На сбор сырого жира решающее влияние оказали условия корневого питания.

Содержание обменной энергии в зерне было достаточно высоким – 12,37-12,64 МДж/кг, но значительного варьирования по вариантам опыта не выявлено. Прослеживается тенденция роста обменной энергии с улучшением условий корневого питания. На всех уровнях корневого питания наибольшим накоплением энергии отличались варианты с фолитарной обработкой Силиплантом универсальным, Цитовитом и Гумат+7В. Прибавка к вариантам без удобрений с микроэлементами на неудобренном агрофоне составила 10,8-15,7 %, а на удобренном – 9,5-17,0 %.

### ***Влияние срока некорневой обработки комплексными удобрениями с микроэлементами на продуктивность кукурузы***

Использование Азосол 36 Экстра на неудобренном агрофоне способствовало росту величины суммарного ФП на 2,7-4,1 % по сравнению с обработкой водой. Действие Акварин 5 было сильнее, и прирост составил 6,9-8,9 %. При внесении полного минерального удобрения в дозе  $N_{110}P_{70}K_{40}$  прибавка от Азосол 36 Экстра получена немного больше – 4,1-5,8 %, а от Акварин 5, наоборот, несколько меньше (3,7-5,6 %). Следует отметить, что на неудобренном агрофоне оба вида удобрения на посевах раннеспелого гибрида лучше проявили себя в вариантах с бинарной обработкой, а среднеранний гибрид большой ФП сформировал при их применении в фазе пяти листьев. В условиях применения макроудобрений максимальных размеров ФП получен при обработке Азосол 36 Экстра в фазе пяти листьев кукурузы и двукратном использовании Акварин 5.

Большие величины чистой продуктивности фотосинтеза получены в вариантах с фолитарной обработкой посевов Азосол 36 Экстра в фазе восьми листьев и двукратном применении, прибавки варьировали от 7,5-7,9 % на неудобренном агрофоне до 13,2 % – на удобренном. Действие Акварин 5 более эффективным было при некорневой обработке в фазе пяти листьев кукурузы.

В вариантах без макроудобрений лучшие показатели по сбору зеленой массы получены при использовании Акварин 5, обеспечившем прибавку 14,2 % и 12,3 % соответственно гибридам. Применение Азосол 36 Экстра способствовало получению дополнительно 7,7 % сырой биомассы раннеспелого гибрида, а среднераннего – 11,0 % (рис. 10). На удобренном агрофоне большая прибавка получена при некорневой обработке раннеспелого гибрида. Но здесь преимущество за применением Азосол 36 Экстра, способствующим росту урожайности фитомассы на 6,2 т/га или 14,1 % по отношению к вариантам с водой, тогда как при обработке Акварин 5 прирост составил 11,2 % (4,9 т/га). Эта же закономерность отмечена и для среднераннего гибрида, но прибавки несколько меньше – 9,2 % и 6,6 % соответственно комплексным удобрениям.

Наибольшая в опыте урожайность початков с обертками получена на вариантах с внесением  $N_{110}P_{70}K_{40}$ . При обработке Азосол 36 Экстра, прибавка к вариантам с водой составила 7,5-9,4 % (рис. 10). При применении Акварин 5 урожай-

ность початков раннеспелого гибрида получена несколько меньше, прирост к вариантам без микроудобрений составил 9,4 % и 3,8 % соответственно гибридам. На обоих фонах корневого питания выделились варианты с применением комплексных микроэлементных удобрений в фазе пяти листьев и бинарной обработкой.

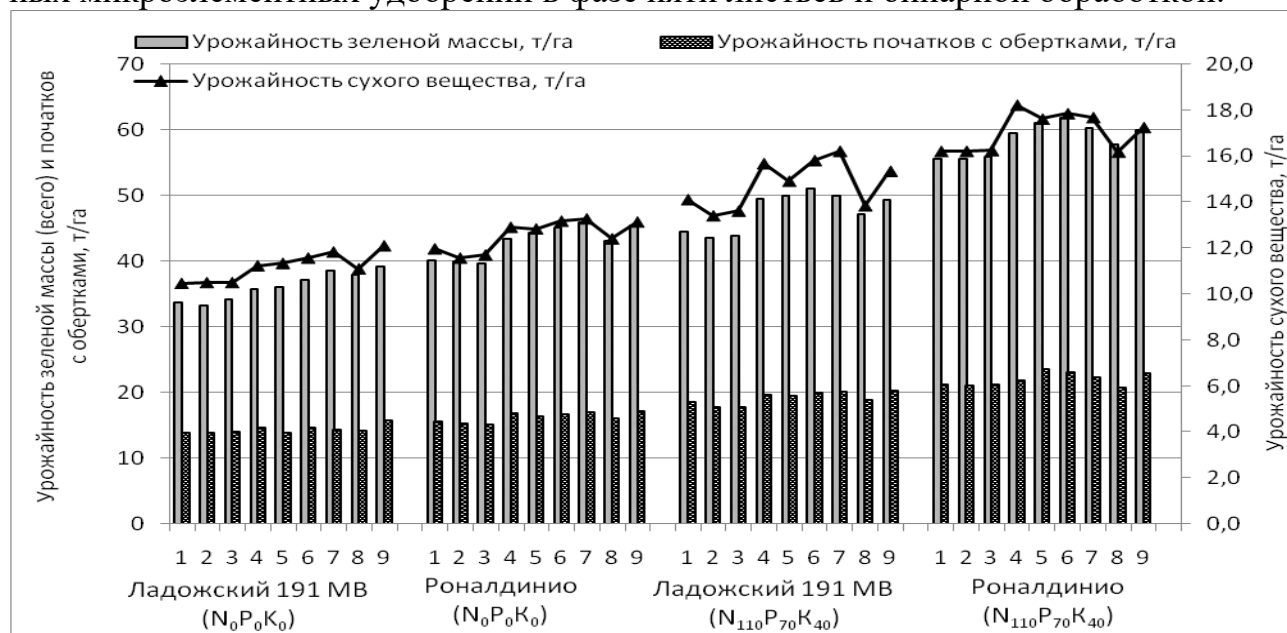


Рисунок 10 – Урожайность кукурузы, среднее за 2016–2018 гг.

Примечание: 1–Контроль (5 лист); 2–Контроль (8 лист); 3–Контроль (5+8 лист); 4–Азосол 36 Экстра (5 лист); 5–Азосол 36 Экстра (8 лист); 6–Азосол 36 Экстра (5+8 лист); 7–Акварин 5 (5 лист); 8–Акварин 5 (8 лист); 9–Акварин 5 (5+8 лист)

НСР<sub>05</sub> (2016) зеленая масса, т/га, по взаимодействию факторов CD – 2,42, по взаимодействию факторов ABD – 1,73, частных различий – 1,73;

НСР<sub>05</sub> (2017) зеленая масса, т/га, по взаимодействию факторов CD – 2,42, по взаимодействию факторов AB – 1,42, по взаимодействию факторов AC – 2,03, частных различий – 2,03;

НСР<sub>05</sub> (2018) зеленая масса, т/га, по взаимодействию факторов CD – 1,33, по взаимодействию факторов AB – 0,66, по взаимодействию факторов AC – 0,94, частных различий – 0,94.

Для раннеспелого гибрида на неудобренном агрофоне предпочтительнее использование Акварин 5, обеспечившее прирост сухой биомассы 11,4 % (от Азосол 36 Экстра – 7,6 %), на фоне N<sub>110</sub>P<sub>70</sub>K<sub>40</sub> оба микроэлементных удобрения были равноценны, получена прибавка 10,2-12,4 %. Среднеранний гибрид, независимо от уровня корневого питания, лучше отзывался на фолиарную обработку Азосол 36 Экстра, прирост сухой биомассы составил 10,2-10,6 %. На всех уровнях корневого питания наибольший прирост сухой биомассы получен при фолиарной обработке посевов в фазе пяти листьев кукурузы.

На агрофоне без удобрений большой сбор протеина получен при двукратном применении удобрений с микроэлементами, а при внесении макроудобрений – преимущество за фолиарной обработкой посевов в фазе пяти листьев кукурузы. Обработка посевов раннеспелого гибрида Азосол 36 Экстра в дополнение к внесению полного минерального удобрения повышала обеспеченность кормовой единицы ПП на 13,8 % по сравнению с обработкой водой. От применения Акварин 5 на удобренном агрофоне прирост в полтора раза меньше. Фолиарная обработка Азосол 36 Экстра на фоне внесения удобрений в дозе N<sub>110</sub>P<sub>70</sub>K<sub>40</sub> позволила

увеличить протеиновую обеспеченность кормовой единицы среднераннего гибрида Роналдинио на 10,4 %, а от Акварин 5 прибавка составила 8,8 % по сравнению с водой.

Наибольшие прибавки кормовых единиц на всех агрофонах обеспечила обработка Азосол 36 Экстра – 8,1-10,1 % по сравнению с контролем. Положительно влияния комплексных удобрений с микроэлементами на содержание обменной энергии в корме не выявлено, но отмечено, что более энергообеспеченная биомасса получена на фоне внесения минеральных туков.

### ***Формирование урожайности и качества зерна кукурузы в зависимости от срока некорневой обработки***

Урожайность зерна в значительной степени определяется индивидуальной продуктивностью растения кукурузы. Двукратное применение Азосол 36 Экстра на посевах раннеспелого гибрида Ладожский 191 МВ на удобренном агрофоне способствовало получению с початка дополнительно 8,2 % массы зерна. Обработка в фазе пяти листьев и двукратное применение Акварин 5 увеличивало массу зерна одного початка на 8,6-8,7 %. От обработки посевов в фазе восьми листьев получен прирост 5,9-6,4 %. На посевах среднераннего гибрида преимущество было также за удобрением Акварин 5. Применение его в фазе пяти листьев увеличивало массу зерна початка на 9,1 %, а двукратное использование – на 10,1 %.

Для раннеспелого гибрида при использовании Азосол 36 Экстра на агрофоне без удобрений, прирост урожайности зерна составил 8,0 %, причем обработка в фазе пяти листьев и двукратное применение были по эффективности равноценны (рис. 11). При применении Акварин 5 прибавка получена больше, в среднем 9,6 %, а наибольший стимулирующий эффект отмечен при бинарном использовании, обеспечившем получение дополнительно 10,8 % зерна к варианту без комплексного удобрения с микроэлементами.

На неудобренном агрофоне Роналдинио сформировал большую урожайность при двойной обработке Акварин 5, прибавка составила 13,9 %. Некорневая обработка посевов Азосол 36 Экстра на этом агрофоне показала примерно равную эффективность по всем срокам применения, прирост урожайности составил 8,9-10,4 %. На удобренном агрофоне эффективность подкормки немного снизилась. Обработка Азосол 36 Экстра способствовала росту сбора зерна на 5,1-5,8 %, а Акварин 5 – на 8,0-10,5 %.

При применении микроэлементной подкормки раннеспелый гибрид обеспечил прибавку сбора белка 9,6-12,4 %, а среднеранний – 11,4-14,6 %. Но как по видам удобрений с микроэлементами, так и по срокам некорневой обработки значимых различий не выявлено.

Действие макроудобрений на величину сбора сырого жира было достоверным, а различия в зависимости от вида и срока применения микроэлементных удобрений были незначительными.

Наметилась слабая тенденция роста выхода обменной энергии с единицы площади при фолитарной обработке Акварин 5 в фазе пяти листьев и двукратном применении.

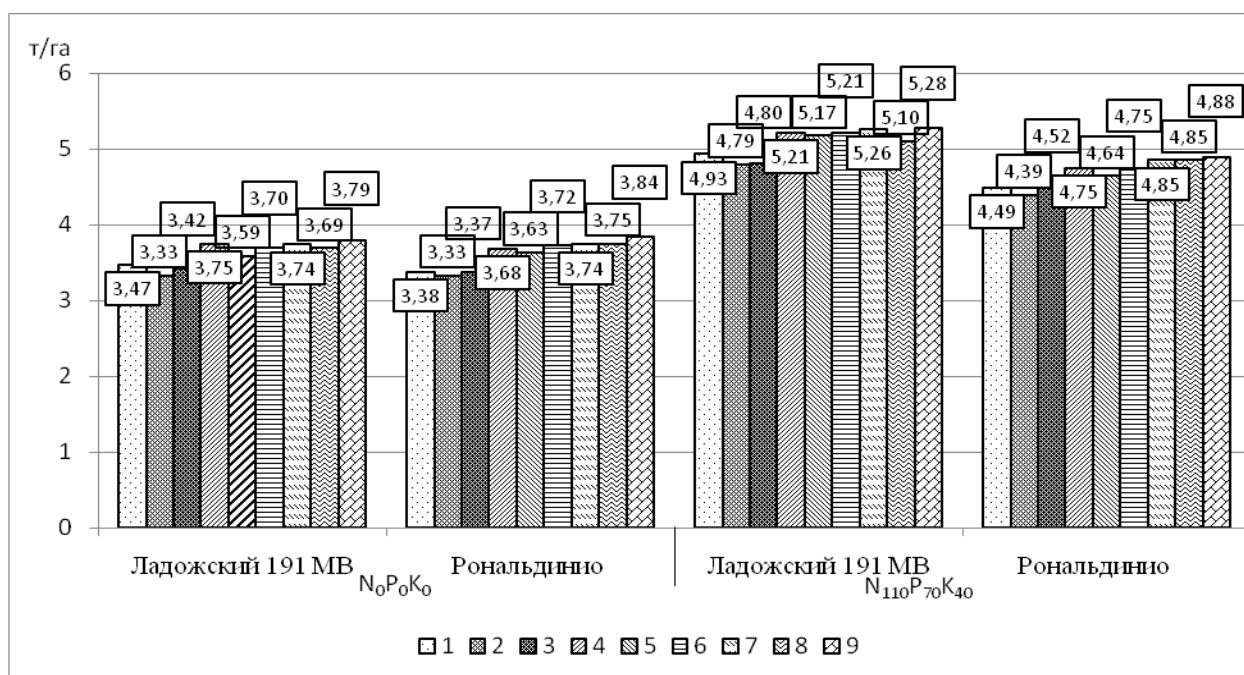


Рисунок 11 – Урожайность зерна кукурузы, т/га, среднее за 2016–2018 гг.

Примечание: 1–Контроль (5 лист); 2–Контроль (8 лист); 3–Контроль (5+8 лист); 4–Азосол 36 Экстра (5 лист); 5–Азосол 36 Экстра (8 лист); 6–Азосол 36 Экстра (5+8 лист); 7–Акварин 5 (5 лист); 8–Акварин 5 (8 лист); 9–Акварин 5 (5+8 лист)

HCP<sub>05</sub> (2016) т/га, по взаимодействию факторов АВ – 0,17, АС – 0,17, частных различий – 0,27;

HCP<sub>05</sub> (2017) т/га, по взаимодействию факторов АВ – 0,16, АС – 0,17, AD, BC, BD – 0,20, ABC, ABD, BDC, ABCD, частных различий – 0,24;

HCP<sub>05</sub> (2018) т/га, по взаимодействию факторов АВ – 0,23, АС – 0,28, AD, BC, BD, ABC, ABD, BDC, ABCD, частных различий – 0,50.

### **Формирование продуктивности кукурузы при использовании кремнийсодержащих удобрений Влияние кремнийсодержащих удобрений на урожайность и качество зеленой массы кукурузы**

Площадь ассимиляционной поверхности и продолжительность ее работы определяется уровнем агротехники. В годы проведения опыта средняя площадь листовой поверхности посева кукурузы за вегетацию при применении кремнийсодержащих удобрений возросла на 9,0-23,6 % (табл. 7). Наибольшее влияние на формирование листовой поверхности оказал НаноКремний, способствующий увеличению средней площади листьев на 15,4-33,6 % с преимуществом двукратной обработки. Более мощный фотосинтетический аппарат сформировался под воздействием НаноКремния, позволившего увеличить величину ФП на 19,4-33,1 % по сравнению с обработкой водой. Наиболее высокий суммарный за вегетацию ФП (1,674 млн. м<sup>2</sup>/га·сут.) получен в варианте с бинарной обработкой НаноКремнием (табл. 7). Некорневая обработка посевов Микровит-6 Кремний обеспечила рост ФП на 13,4-19,2 %, а Келик Калий + Кремний – на 7,3-11,7 % по отношению к вариантам с водой. Установлено, что в годы исследований применение кремнийсодержащих удобрений не способствовало улучшению «работы» листового аппарата, средняя за вегетацию продуктивность фотосинтеза была на 5,3-15,7 % меньше, чем при обработке водой.

Таблица 7– Фотосинтетическая деятельность посевов кукурузы в зависимости от приемов возделывания, среднее за 2018-2022 гг.

Кремнийсодержащее удобрение (фактор А)	Срок некорневой обработки (фактор В)	ФП, млн. м <sup>2</sup> /га·сут.	ЧПФ, г/м <sup>2</sup> ·сут.
Контроль	5 листьев	1,289	11,91
	7-8 листьев	1,296	11,67
	5+7-8 листьев	1,282	11,86
Келик Калий+ Кремний	5 листьев	1,391	11,60
	7-8 листьев	1,434	11,41
	5+7-8 листьев	1,425	11,69
НаноКремний	5 листьев	1,517	10,38
	7-8 листьев	1,534	10,21
	5+7-8 листьев	1,656	10,69
Микровит-6 Кремний	5 листьев	1,549	10,48
	7-8 листьев	1,469	11,13
	5+7-8 листьев	1,513	10,89

Кремнийсодержащие удобрения способствовали увеличению сбора початков с обертками на 8,7-28,0 % по сравнению с водой.

Максимальная урожайность и содержание в зеленой массе зафиксированы при бинарной обработке НаноКремнием (рис 12).

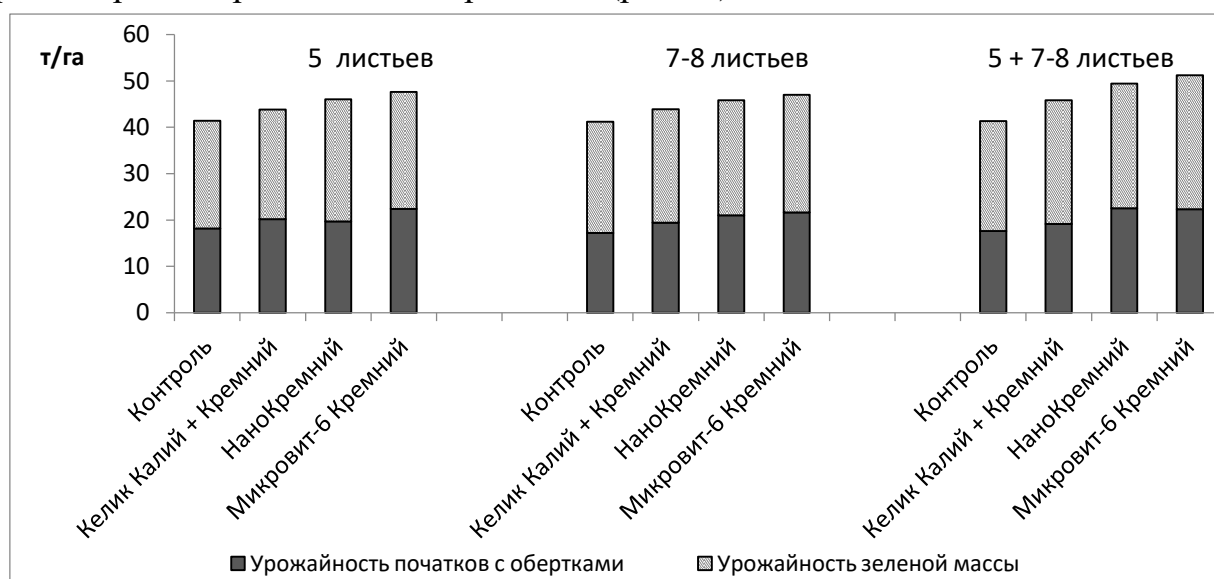


Рисунок 12 – Влияние кремнийсодержащих удобрений и срока обработки на урожайность кукурузы, среднее за 2018-2022 гг.

НСР<sub>05</sub> зеленая масса, т/га, по фактору А – 0,11-1,38, по фактору В – 0,10-1,20, по взаимодействию АВ – 0,20-2,39.

Применение кремнийсодержащих удобрений в фазе пяти и 7-8 листьев способствовало увеличению сбора фитомассы на 5,7-14,8 %. Двукратная фолиарная обработка Келик Калий+Кремний способствовала увеличению сбора сырой биомассы кукурузы на 11,0 %, от применения НаноКремния получена прибавка 19,8 %. Микровит-6 Кремний в этом варианте показал лучший результат урожайности – 51,2 т/га, что на 24,3 % превышало показатели, полученные при обработке водой. Большой сбор сухой биомассы получен в варианте с двукратной фолиарной

обработкой посевов НаноКремнием, где получена прибавка урожайности сухого вещества 19,6 %.

При некорневой обработке кремнийсодержащими удобрениями возрос сбор переваримого протеина с единицы площади на 45,3-68,8 %, с преимуществом использования удобрения НаноКремний во второй срок обработки и бинарно. В этих вариантах отмечено увеличение обеспеченности кормовой единицы протеином на 12,6-16,7 %.

В вариантах с кремнийсодержащими удобрениями выход кормовых единиц по отношению к вариантам с водой увеличился на 1,0-22,4 % при явном преимуществе бинарного применения удобрений. Энергонасыщенность корма, как по годам исследований, так и по вариантам опыта варьировала незначительно и изменялась от 11,05 до 11,64 МДж/кг сухого вещества. Максимальный выход обменной энергии получен при двукратной некорневой обработке удобрением НаноКремний, в основном, за счет большей урожайности в этом варианте – в среднем 192,36 ГДж/га, что на 34,7 % превышает вариант с обработкой водой.

### ***Формирование зерновой продуктивности кукурузы***

Урожайность зерна кукурузы в значительной степени определяется массой зерна одного початка. Анализ полученных данных свидетельствует, что при использовании удобрений с кремнием количество зерен в початке увеличивалось на 10,9-22,7 %. Более эффективным было применение НаноКремния двукратно и в фазе 7-8 листьев и двукратное применение Келик Калий + Кремний.

Все изучаемые кремнийсодержащие удобрения способствовали получению более полновесного початка, масса зерна с початка выросла на 22,6-27,4 % по отношению к контролю. Наибольшую эффективность показал Микровит-6 Кремний при некорневой обработке в фазе пяти листьев кукурузы.

В 2018 г. при ГТК за вегетацию 0,56 некорневая подкормка кремниевыми удобрениями способствовала получению прибавки зерна 0,09-1,37 т/га к контролю, с преимуществом бинарной обработки. В 2019 г. лучший результат получен при использовании в фазе пяти листьев кукурузы Келик Калий+Кремний. При достаточно благоприятном для кукурузы соотношении тепла и влаги 2020 г. наиболее эффективными были двукратные некорневые обработки изучаемыми удобрениями, а также обработка Микровит-6 Кремний в фазе 5 листьев кукурузы, дополнительный сбор зерна составил 2,15-3,58 т/га. В погодных условиях 2021 года в среднем по вариантам с применением кремнийсодержащих удобрений получена прибавка урожайности зерна 6,7-10,6 % с преимуществом использования НаноКремния. В 2022 г при достаточной теплообеспеченности периода вегетации лучший рост урожайности получен при листовой подкормке НаноКремнием и Микровит-6 Кремний. Двукратная обработка обеспечила прирост зерна 2,61-2,73 или 32,8-34,3 % к контролю.

Установлено, что фолиарная обработка удобрениями с кремнием в среднем за годы исследования способствует росту урожайности зерна кукурузы на 0,97-2,39 т/га или 23,5-32,1 % (табл. 8). Наиболее эффективным по сбору зерна было применение Микровит-6 Кремний в фазу пяти листьев кукурузы и НаноКремния бинарно, позволившее получить дополнительно 2,39 и 2,26 т/га или 35,4 и 33,4 % продукции.

Таблица 8 – Урожайность зерна кукурузы, т/га

Кремнийсодержащее удобрение (фактор А)	Срок некорневой обработки (фактор В)	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее за пять лет
Контроль	5 листьев	3,10	5,99	7,11	9,45	8,10	6,75
	5 листьев	3,15	5,96	6,82	9,53	7,93	6,68
	7-8 листьев	3,12	5,96	7,32	9,41	7,96	6,75
Келик Калий+Кремний	5 листьев	4,36	9,36	8,70	9,59	8,55	8,11
	7-8 листьев	4,02	8,20	7,90	9,39	8,74	7,65
	5 + 7-8 листьев	4,49	8,19	9,47	11,32	8,71	8,44
НаноКремний	5 листьев	3,84	8,49	8,18	9,16	9,57	7,85
	7-8 листьев	3,81	8,27	8,54	12,11	9,56	8,46
	5 + 7-8 листьев	4,15	10,20	10,00	10,13	10,57	9,01
Микровит-6 Кремний	5 листьев	3,84	9,81	10,69	11,28	10,10	9,14
	7-8 листьев	3,24	9,78	9,78	9,50	9,51	8,37
	5 + 7-8 листьев	3,95	9,19	10,06	10,42	10,69	8,87
НСР <sub>05</sub> (2018 г.) т/га: по фактору А – 0,184; В – 0,163; взаимодействия АВ – 0,306							
НСР <sub>05</sub> (2019 г.) т/га: по фактору А – 0,265; В – 0,224; взаимодействия АВ – 0,469							
НСР <sub>05</sub> (2020 г.) т/га: по фактору А – 0,187; В – 0,143; взаимодействия АВ – 0,326							
НСР <sub>05</sub> (2021 г.) т/га: по фактору А – 0,280; В – 0,243; взаимодействия АВ – 0,485							
НСР <sub>05</sub> (2022 г.) т/га: по фактору А – 0,254; В – 0,220; взаимодействия АВ – 0,440							

Максимальное количество валовой энергии накоплено при применении Микровит-6 Кремний в фазе 5 листьев кукурузы и НаноКремния бинарно (табл. 9).

Таблица 9 – Качественные показатели и кормовая ценность зерна кукурузы, среднее за 2018-2022 гг.

Кремнийсодержащее удобрение (фактор А)	Срок некорневой обработки (фактор В)	Сбор сырого протеина, кг/га	Сбор сырого жира, кг/га	Обменная энергия, МДж/кг	Накоплено энергии в урожае, ГДж/га
Контроль	5 листьев	732	268	12,88	83,33
	5 листьев	695	262	12,82	82,35
	7-8 листьев	731	268	12,88	83,78
Келик Калий + Кремний	5 листьев	992	346	12,99	104,52
	7-8 листьев	855	300	12,87	95,76
	5+7-8 листьев	993	345	12,93	109,05
НаноКремний	5 листьев	897	310	13,00	96,95
	7-8 листьев	963	352	13,00	106,97
	5+7-8 листьев	978	375	12,89	111,79
Микровит-6 Кремний	5 листьев	938	383	12,87	115,32
	7-8 листьев	890	342	12,93	104,82
	5+7-8 листьев	935	360	12,62	107,80
НСР <sub>05</sub> по фактору А		12,8-36,9	3,7-13,8		2,06-3,74
по фактору В		11,1-31,8	3,2-11,9		1,78-3,24
по фактору взаимодействия АВ		22,1-63,8	6,4-23,8		3,57-6,48

Превышение аналогичных вариантов с водой составляет 38,4 % и 33,4 % соответственно.

## Энергетическая и экономическая эффективность приемов возделывания кукурузы

Полученные данные свидетельствуют, что экономическая и биоэнергетическая эффективность в первую очередь зависят от величины урожая.

Расчет показал, что гербициды повышали биоэнергетическую эффективность только на удобренном агрофоне – на 0,44-0,48 ед., а фолиарная обработка Цирконом значительного влияния не оказала. Независимо от уровня корневого питания с позиции окупаемости затрат лучшими были варианты с довосходным гербицидом, при этом уровень рентабельности составил 181-184 % на агрофоне без удобрений и 96-100 % на фоне  $N_{120}P_{104}K_{60}$ .

При возделывании кукурузы на силос увеличение густоты растений до 80 тыс. шт./га сопровождалось ростом биоэнергетической эффективности. На неудобренном агрофоне КПД составил 5,17-5,33 ед., при внесении макроудобрений он снижался на 0,70-1,21 ед., а наиболее эффективным было внесение удобрений в дозе  $N_{120}P_{90}K_{60}$ . При возделывании кукурузы на зерно внесение минеральных удобрений сопровождалось снижением биоэнергетической эффективности на 0,20-0,43 ед. Экономическая оценка показала, что при возделывании кукурузы на силос на всех уровнях корневого питания с ростом густоты растений до максимальной в опыте, отмечено снижение окупаемости затрат на 9,5-13,1 %. Экономически эффективной при возделывании на зерно является густота стояния 70-80 тыс. шт./га, обеспечивающая примерно равный условно чистый доход.

Оценка энергетической эффективности применения регуляторов роста показала, что максимальный чистый энергетический доход на неудобренном агрофоне получен при некорневой обработке препаратом АгроСтимул (28,78 ГДж/га), на удобренном агрофоне – препаратом Циркон и Plagron Vita Race (29,13 и 21,91 ГДж/га). Наибольший биоэнергетический коэффициент получен при некорневой обработке АгроСтимул на неудобренном фоне (2,50 ед.). Наибольший условно чистый доход как на неудобренном агрофоне, так и при внесении минеральных удобрений обеспечили варианты с некорневой обработкой Циркон и Рибавэкстра – 32,25-33,49 и 35,88-36,12 тыс.руб./га соответственно агрофонам. В этих же вариантах был выше уровень рентабельности.

Затраты энергии на одну тонну кормовых единиц при некорневой обработке удобрениями с микроэлементами увеличились незначительно, в среднем на 0,21 и 0,17 ГДж, а внесение макроудобрений привело к снижению энергетической эффективности на 0,43 и 0,40 ед. При возделывании кукурузы на зерно от применения комплексных удобрений с микроэлементами в зависимости от агрофона получена прибавка от 0,24 до 5,56 ГДж/га с преимуществом обработки Цитовитом. С экономической точки зрения наиболее выгодным при возделывании кукурузы на силос на всех агрофонах является применение удобрения Цитовит, обеспечившего увеличение условно чистого дохода на 16,1-21,4 %.

При изучении влияния срока некорневой обработки удобрениями с микроэлементами на реализацию силосной продуктивности установлено, что наибольший энергетический доход у раннеспелого гибрида Ладожский 191 МВ на агрофоне без удобрений получен при применении Акварин 5 двукратно, а на удобренном фоне в фазе 5 листьев – 106,14 и 146,14 ГДж/га соответственно. При возделывании



среднераннего гибрида Роналдинио наибольший чистый энергетический доход на неудобренном агрофоне получен при обработке в фазе пяти листьев Акварин 5, а на фоне  $N_{110}P_{70}K_{40}$  – Азозол 36 Экстра в фазе 5 листьев (115,65 и 161,06 ГДж/га). На удобренном агрофоне биоэнергетический коэффициент понизился: при возделывании гибрида Ладожский 191 МВ на 0,51 ед., Роналдинио – на 0,26 ед. Установлено, что наибольший условно чистый доход на агрофоне без удобрений раннеспелый гибрид обеспечил при бинарной обработке Акварин 5, а среднеранний – при листовой подкормке Акварин 5 в фазе пяти листьев. При возделывании на зерно некорневая обработка микроэlementными удобрениями повышала биоэнергетический эффект незначительно, в среднем на 0,04-0,09 ед. Экономическая оценка показала, что наибольший условно чистый доход на неудобренном агрофоне обеспечила обработка посевов в фазе пяти листьев Акварин 5, а для среднераннего гибрида более экономически выгодной оказалось двукратное использование комплексных удобрений с микроэlementами, обеспечившее наибольший условно чистый доход и меньшую себестоимость зерна. На удобренном агрофоне для обоих гибридов преимущество за листовой обработкой Акварин 5 в фазе пяти листьев кукурузы. В этих вариантах получен наибольший условно чистый доход (29,65 и 26,55 тыс. руб./га) при наименьшей себестоимости зерна.

С точки зрения соотношения энергозатрат и выхода энергии с полученным урожаем, наиболее эффективным было проведение двукратной обработки удобрениями с кремнием. Применение Келик Калий+Кремний, НаноКремний и Микровит-6 Кремний повышало биоэнергетическую эффективность на 0,31, 0,44 и 0,16 ед. соответственно. Наибольший условно чистый доход получен при бинарной обработке, а лучший результат обеспечило применение НаноКремния – 108,92 тыс. руб./га, что на 20,7 % превышает вариант с обработкой водой. Однако при двукратной обработке отмечено снижение уровня рентабельности и рост себестоимости кормовых единиц. При возделывании кукурузы на зерно удобрения с кремнием способствовали увеличению биоэнергетической эффективности на 0,21-0,28 ед., КПД на вариантах с их применением составил в среднем 2,48-2,54 ед. с преимуществом обработки НаноКремний – двукратно и Микровит-6 Кремний в фазе пяти листьев. При подкормке в фазе пяти листьев удобрением Микровит-6 Кремний условно чистый доход на 37,2 % превышает контроль.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты многолетних комплексных исследований по изучению формирования высокопродуктивных агроценозов кукурузы позволили сделать следующие выводы.

1. На черноземе выщелоченном лесостепи Среднего Поволжья к уборке кукурузы отмечено снижение сухой массы сорной растительности при обработке послеваходовым гербицидом и сочетании его с доваходовым гербицидом в 4,6-5,4 раза, тогда как в вариантах с послеваходовым гербицидом только в 2,0-2,3 раза в сравнении с вариантами без гербицида. Комплексное применение регулятора роста с гербицидами не снижало биологическую эффективность гербицидов.

Применение гербицидов на неудобренном фоне обеспечило прирост урожайности зерна на 46,1-59,5 %, а на удобренном агрофоне – на 53,8-69,0 %. Фолиарная обработка Цирконом снижала отрицательное действие химических гербицидов и способствовала получению дополнительно 7,1-7,9 % зерна.

2. Растения кукурузы через 21 сутки после обработки довсходовым гербицидом восстанавливали свой фотохимический статус, в основном, за счет накопления большего количества основного хлорофилла *a*. На удобренном агрофоне без применения регулятора роста содержание хлорофилла *a* возросло, по сравнению с вариантом без химической прополки, на 9,2-10,0 %, а на фоне антистрессанта – на 16,5-19,1 %.

3. Внесение минеральных удобрений повлияло на скорость микробиологических процессов в почве. Самый низкий показатель микробиологической активности был отмечен на неудобренном фоне, где процент разложения льняного полотна при экспозиции 60 суток составил 27,8-29,3 %. Внесение минеральных удобрений способствовало увеличению активности целлюлозоразлагающих микроорганизмов, процент разложения льняного полотна возрастал до 54,2-57,7 %. Гербицид Дуал Голд оказал угнетающее влияние на почвенную активность, снижая ее на 4,5-8,9 % на неудобренном агрофоне, и на 57,1-67,7 % при внесении  $N_{120}P_{104}K_{60}$  в сравнении с вариантами без химической прополки гербицидами.

4. Создание наиболее оптимальных условий возделывания при улучшении фитосанитарного состояния посевов при обработке гербицидами повышало затраты влаги на формирование урожайности зерна, но снижало коэффициент водопотребления – на неудобренном фоне на 27,0-32,1 % (на 147-203 м<sup>3</sup>/т), причем лучшие результаты получены без дополнительной обработки Цирконом, а на удобренном агрофоне экономия влаги составила 30,0-34,4 % (на 203-225 м<sup>3</sup>/т), при этом лучшие показатели получены при обработке регулятором роста.

5. Одним из решающих факторов формирования высокопродуктивных агроценозов кукурузы является густота стеблестоя. В результате многолетних исследований было установлено, что при увеличении густоты растений раннеспелого гибрида с 60 до 70 тыс. шт./га величина фотосинтетического потенциала возросла на 10,2-17,7 %, а при дальнейшем загущении на каждые 10 тыс. шт./га прирост не превышал 2,5-9,6 %. При загущении посевов чистая продуктивность фотосинтеза снижалась на 25,9-32,9 %.

6. Наиболее мощные растения были получены при перенесении части азотных удобрений в корневую подкормку, прирост составил 49,8 % и получено дополнительно 16,7 т/га зеленой массы. С загущением посевов до максимального в опыте, масса одного растения снижалась на 28,7-30,2 %. Однако это компенсировалось увеличением числа растений на единицу площади и увеличение количества растений сопровождалось нарастанием фитомассы, прибавки по отношению к предыдущей густоте составили, в среднем, 1,8-7,0 %. На фоне азотной подкормки сбор биомассы увеличивался до загущения 80 тыс. шт./га, а при разовом внесении удобрений – до густоты 90 тыс. шт./га.

7. Большим накоплением сухого вещества отличались посевы на агрофоне с полным минеральным питанием ( $N_{120}P_{90}K_{60}$ ), сбор сухой биомассы увеличился на 3,9 т/га, или на 39,2 %. На агрофоне без удобрений и внесении  $N_{120}P_{90}$  наибольшие прибавки (7,3-8,3 %), по отношению к минимальной в опыте густоте, отмечали в

варианте с густотой 100 тыс. шт./га, на фоне азотной подкормки сбор биомассы увеличивался до загущения 80 тыс. шт./га., на фоне полного минерального удобрения – до густоты 90 тыс. шт./га. Загущение стеблестоя приводило к ухудшению питательности корма, но до густоты 80 тыс. шт./га увеличивало выход кормовых единиц. С загущением посева и ростом урожайности сухой биомассы отмечено увеличение выхода обменной энергии на 2,3-7,9 %.

8. При взаимодействии густоты растений и уровня корневого питания наиболее оптимальные условия формирования урожая зерна складывались при перенесении части азота ( $N_{30}$ ) в корневую подкормку. На удобренном агрофоне масса зерна с одного початка увеличилась на 27,8-38,0 %. При загущении стеблестоя с 60 до 80 тыс. шт./га отмечено снижение массы зерна с початка на 14,6-17,8 %, а при увеличении густоты до 100 тыс. шт./га масса зерна снижалась на 19,0-26,7 г или 30,0-33,1 %. Более эффективным по сбору зерна было применение азотной подкормки и внесение полного минерального удобрения в дозе  $N_{120}P_{90}K_{60}$ , позволившие получить дополнительно 1,73-1,74 т/га или 46,2-46,6 % продукции. Оптимальной густотой, растений, обеспечивающей максимальную урожайность зерна, является 80 тыс. шт./га.

9. В современных технологиях возделывания повышение устойчивости к абиотическим факторам и реализация максимальной продуктивности могут быть осуществлены при использовании регуляторов роста растений. При фоллиарной обработке регуляторами роста масса зерна с початка раннеспелого гибрида увеличилась на неудобренном агрофоне на 10,6 %, а при внесении  $N_{120}P_{90}K_{60}$  – на 4,9 %. На всех уровнях минерального питания при некорневой обработке Цитовит и Plagron Vita Race получено дополнительно 9,6-13,5 % зерна с единицы площади. Во все годы исследований стимулирующие свойства регуляторов лучше проявлялись на агрофоне без удобрений.

Большим выходом обменной энергии на неудобренном агрофоне отличился вариант с регулятором роста Агростимул на удобренном агрофоне лучшим был вариант с обработкой посевов Цитовит и Plagron Vita Race (прибавка к контролю 9,70 и 5,81 ГДж/га или 25,3 и 10,1 % соответственно).

10. Эффективным приёмом увеличения урожайности сельскохозяйственных культур является применение удобрений с микроэлементами. На неудобренном агрофоне комплексные удобрения с микроэлементами повышали величину ФП на 7,2–17,0 %, а на фоне макроудобрений прирост составил 8,5-18,5 %. Наиболее продуктивно «работали» листья раннеспелого гибрида при обработке посевов удобрениями Цитовит, ЭкоФус и Гумат+7В. Комплексные удобрения с микроэлементами стимулировали прирост фитомассы и лучшие показатели зафиксированы при некорневой обработке Силиплантом универсальным, Цитовитом и ЭкоФусом, прибавка зеленой массы составила 11,6–16,5 % к вариантам без комплексного удобрения, а сухого вещества – 13,0-25,0 %. Следует отметить, что эффективнее комплексные удобрения проявили себя на неудобренном агрофоне и при внесении полного минерального удобрения. При применении комплексных удобрений с микроэлементами сбор протеина увеличивался на 6,5–26,5 %, а выход кормовых единиц – на 15,0-22,5 %.

11. На всех уровнях корневого питания отмечено преимущество использования для некорневой обработки Цитовита и Силипланта универсального, позволившее увеличить урожайность зерна кукурузы на 9,8-15,2 %.

12. Определенной закономерности по влиянию листовой обработки удобрениями с микроэлементами на биохимический состав зерна кукурузы не выявлено, установлена лишь тенденция роста сырого протеина при их использовании. Наибольшим накоплением энергии отличались варианты с фолиарной обработкой Силиплантом универсальным, Цитовитом и Гумат+7В, прибавка к контролю на неудообренном агрофоне составила 4,84-7,08 ГДж/га или 10,8-15,7 %, а на удобренном – 5,66-10,20 ГДж/га или 9,5-17,0 %.

13. В реализации потенциальной продуктивности гибридов кукурузы важную роль играет оптимизация условий минерального питания. Большие величины чистой продуктивности фотосинтеза получены в вариантах с фолиарной обработкой посевов Азосол 36 Экстра в фазе восьми листьев и двукратном применении, прибавки варьировали от 7,5-7,9 % на агрофоне без удобрений до 13,2 % при внесении  $N_{110}P_{70}K_{40}$ . Действие Акварин 5 более эффективным было при некорневой обработке в фазе пяти листьев кукурузы. На удобренном агрофоне некорневая обработка посевов раннеспелого гибрида Азосол 36 Экстра способствовала росту урожайности фитомассы на 6,2 т/га или 14,1 % по отношению к контролю, тогда как при обработке Акварин 5 прирост составил 11,2 % (4,9 т/га). Эта же закономерность отмечена и для среднераннего гибрида, но прибавки несколько меньше – 5,1 т/га или 9,2 % и 3,7 т/га или 6,6 % соответственно. На всех уровнях корневого питания наибольший прирост сухой биомассы получен при фолиарной обработке посевов в фазе пяти листьев кукурузы.

14. Обработка в фазе пяти листьев и двукратное применение Акварин 5 увеличивало массу зерна одного початка на 8,6-10,1 %. Азосол 36 Экстра обеспечил прибавки зерна с початка 5,2-6,2 %, причем разница по срокам обработки незначительная. У раннеспелого гибрида при использовании Азосол 36 Экстра на агрофоне без удобрений, прирост урожайности зерна составил 8,0 %, причем обработка в фазе пяти листьев и двукратное применение были по эффективности равноценны. При применении Акварин 5 прибавка получена больше, в среднем, по срокам обработки, 9,6 %, а наибольший стимулирующий эффект отмечен при бинарном использовании, обеспечившем получение дополнительно 0,37 т/га зерна или 10,8 % к варианту без комплексного удобрения с микроэлементами.

15. Инновационным способом увеличения устойчивости организма к неблагоприятным условиям выращивания является использование новых видов кремнийсодержащих удобрений. Более мощный фотосинтетический аппарат сформировался под воздействием НаноКремния, позволившего увеличить величину ФП на 17,7-29,0 % по сравнению с контролем, а наиболее высокий суммарный за вегетацию фотосинтетический потенциал (1, 656 млн.  $m^2/га \cdot сут.$ ) получен в варианте с бинарной обработкой НаноКремнием.

Применение кремнийсодержащих удобрений способствовало увеличению урожайности зеленой массы на 7,2-24,8 % с преимуществом двукратной обработки Микровит-6 Кремний (прибавка 10,3 т/га), а лучший результат по сбору сухой

биомассы получен в варианте с двукратной foliarной обработкой посевов НаноКремнием (прибавка 2,9 т/га или 19,8 %).

Изучаемые кремнийсодержащие препараты оказали незначительное влияние на питательность полученного корма. За счет повышения урожайности при применении удобрений с кремнием сбор переваримого протеина вырос на 50-210 кг/га или на 6,8-28,6 %.

Foliarная обработка кремнийсодержащими удобрениями способствует увеличению озерненности початка на 7,1-18,9 %. Наиболее эффективным по сбору зерна было применение Микровит-6 Кремний в фазе пяти листьев кукурузы и НаноКремния бинарно, позволившее получить дополнительно 2,39 и 2,26 т/га или 35,4 и 33,4 % продукции.

16. Расчеты показали, что гербициды повышали биоэнергетическую эффективность (на 0,44-0,48 ед.) только при внесении удобрений в норме  $N_{120}P_{100}K_{60}$ .

Увеличение густоты растений до 80 тыс. шт./га сопровождалось ростом биоэнергетической эффективности, а наибольший чистый энергетический доход получен при дробном внесении азота ( $N_{90+30}P_{90}$ ) и  $N_{120}P_{90}K_{60}$ .

Большой чистый энергетический доход получен при некорневой обработке регуляторами роста АгроСтимул и Циркон – 23,09-29,13 ГДж/га.

Энергетически эффективным приемом повышения урожайности кукурузы является листовая обработка удобрением Цитовит, обеспечившая чистый энергетический доход 151,63-152,04 ГДж/га при возделывании на зеленую массу и 32,19-39,19 ГДж/га – при возделывании на зерно.

Применение листовой обработки кремнийсодержащими удобрениями повышало биоэнергетическую эффективность при возделывании на зеленую массу на 0,16-0,44 ед., а на зерно – на 0,21-0,28 ед.

17. Экономическая оценка применения гербицидов при возделывании на зерно показала снижение уровня рентабельности при их применении, но рост условно чистого дохода на 16,2- 20,8 % (481-658 тыс. руб./га).

При возделывании кукурузы на силос независимо от уровня минерального питания с ростом густоты растений до максимальной в опыте, отмечено снижение окупаемости затрат на 9,5-13,1 %. Экономически эффективной при возделывании на зерно, при проведении корневой азотной подкормки, является густота растений 70 тыс.шт./га, а при внесении  $N_{120}P_{90}K_{60}$  – 80 тыс.шт./га.

Наибольший условно чистый доход при возделывании кукурузы на зерно обеспечили варианты с некорневой обработкой Циркон и Рибав-экстра – 32,25-36,12 тыс.руб./га.

С экономической точки зрения наиболее выгодным при возделывании раннеспелого гибрида кукурузы на силос на всех агрофонах является применение для некорневой обработки комплексного удобрения с микроэлементами Цитовит, обеспечившего увеличение условно чистого дохода на 16,1-21,4 %. При возделывании на зерно наибольший условно чистый доход получен при foliarной обработке посевов Силиплант универсальный и Цитовит, прибавка к контролю составила 11,1-15,2 %.

При возделывании на силос на удобренном агрофоне раннеспелый гибрид большой условно чистый доход обеспечил при foliarной обработке Акварин 5 в фазе пяти листьев, а среднеранний – при применении в этой фазе Азосол 36 Экст-

ра. Применение Акварин 5 на всех уровнях корневого питания было более рентабельно. При возделывании на зерно на удобренном агрофоне как для раннеспелого, так и для среднераннего гибрида преимущество за листовой обработкой Акварин 5 в фазе пяти листьев кукурузы. В этих вариантах получен наибольший условно чистый доход (29,65 и 26,55 тыс. руб./га) при наименьшей себестоимости зерна.

При применении кремнийсодержащих удобрений при возделывании кукурузы на силос наибольший условно чистый доход получен при бинарной обработке НаноКремнием – 114,40 тыс. руб./га, что на 18,59 тыс. руб./га или 19,4 % превышает вариант с обработкой водой. При возделывании на зерно наибольший условно чистый доход получен при обработке посевов в фазе пяти листьев Микровит-6 Кремний, прибавка 10,55 тыс. руб./га или 33,6 % к контролю.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

При формировании высокопродуктивных агроценозов кукурузы в условиях лесостепи Среднего Поволжья предлагаются следующие рекомендации:

1. Для уничтожения сорной растительности в посевах кукурузы применять послевсходовый гербицид Элюмис, МД (1,5 л/га) в фазе 5 листьев кукурузы, который снижает массу сорных растений в 4,6-5,1 раза, в комплексе с регулятором роста Циркон в дозе 40 мл/га.

2. Для формирования высокопродуктивных посевов раннеспелых гибридов кукурузы оптимальной густотой растений при возделывании на силос является 80-90 тыс. шт./га, на зерно – 80 тыс. шт./га. В целях повышения урожайности зерна и фитомассы применять в фазе 5 листьев кукурузы корневую подкормку азотными удобрениями в дозе 30 кг/га азота в дополнение к предпосевному внесению азотно-фосфорных удобрений (N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>).

3. На черноземе выщелоченном лесостепи Среднего Поволжья для реализации потенциальной продуктивности раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы с высоким кормовым достоинством, применять некорневые подкормки в фазе 5 листьев кукурузы комплексными удобрениями с микроэлементами Силиплант универсальный (1,0 л/га), Цитовит (0,5 л/га) или Азосол 36 Экстра (3,0 л/га).

4. С целью повышения продуктивности кукурузы использовать листовые обработки кремнийсодержащими удобрениями Микровит-6 Кремний (1,0 л/га) и НаноКремний (150 г/га) двукратно в фазе 5 листьев и 7-8 листьев.

## Список работ, опубликованных по теме диссертации

### Статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ:

1. Семина, С.А. Условия возделывания и продуктивность кукурузы / С.А. Семина, А.С. Палийчук, **И.В. Гаврюшина** // Нива Поволжья. – 2016. – № 4(41). – С. 63-69.
2. Влияние удобрений и густоты стояния растений на урожайность зерна кукурузы в лесостепной зоне Поволжья / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина**, А.С. Палийчук [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 3. – С. 25-29.
3. Семина, С.А. Влияние минеральных удобрений и густоты растений на параметры фотосинтеза и продуктивность кукурузы / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина**, А.С. Палийчук // Земледелие. – 2017. – № 4. – С. 15-18.

4. Семина, С.А. Влияние препаратов с микроэлементами на морфобиометрические показатели и урожайность кукурузы / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина** // *Агрехимический вестник*. – 2017. – № 6. – С. 43-46.
5. Семина, С.А. Фотосинтетическая деятельность кукурузы в зависимости от условий минерального питания / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина** // *Нива Поволжья*. – 2017. – № 4(45). – С. 138-144.
6. Семина, С.А. Влияние густоты растений и доз минеральных удобрений на качество зерна кукурузы / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина**, С.М. Надежкин // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. – 2018. – № 4(72). – С. 93-95.
7. Семина, С.А. Густота растений и уровень минерального питания как факторы регулирования урожайности зерна кукурузы / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина**, Ю.А. Семина // *Нива Поволжья*. – 2018. – № 3(48). – С. 57-62.
8. **Гаврюшина, И.В.** Отзывчивость гибридов кукурузы на применение комплексных удобрений / И.В. Гаврюшина, С.А. Семина // *Научная жизнь*. – 2019. – Т. 14, № 12(100). – С. 1830-1840.
9. Семина, С.А. Влияние условий минерального питания на формирование урожайности зерна кукурузы / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина** // *Научная жизнь*. – 2019. – Т. 14, № 7(95). – С. 1097-1106.
10. Семина, С.А. Комплексные удобрения как фактор регулирования урожайности кукурузы / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина**, Ю.А. Семина // *Нива Поволжья*. – 2019. – № 2(51). – С. 85-91.
11. Семина, С.А. Урожайность зерна кукурузы в зависимости от листовой подкормки комплексными удобрениями / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина** // *Нива Поволжья*. – 2019. – № 4(53). – С. 29-35.
12. Семина, С.А. Влияние кремнийсодержащих препаратов на формирование урожайности зерна кукурузы / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина**, Е.В. Никулина // *Агрехимический вестник*. – 2020. – № 4. – С. 62-66.
13. Семина, С.А. Влияние препаратов с кремнием на формирование урожайности кукурузы / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина**, Е.В. Никулина // *Нива Поволжья*. – 2020. – № 1(54). – С. 9-14.
14. **Гаврюшина, И.В.** Влияние условий выращивания на фитосанитарное состояние посевов кукурузы / И.В. Гаврюшина, С.А. Семина, С.М. Надежкин // *Научная жизнь*. – 2020. – Т. 15, № 9(109). – С. 1215-1223.
15. Семина, С.А. Приемы агротехники и биохимический состав кукурузы / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина**, Ю.А. Семина // *Нива Поволжья*. – 2020. – № 4(57). – С. 58-64.
16. Роль регуляторов роста в формировании урожайности зерна кукурузы / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина**, Ю.А. Семина, С.Н. Алексеева // *Нива Поволжья*. – 2021. – № 1(58). – С. 23-29.
17. Семина, С.А. Приемы оптимизации качества кукурузы / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина**, А.С. Палийчук // *Научная жизнь*. – 2021. – Т. 16, № 5(117). – С. 605-613.
18. Семина, С.А. Урожайность и биохимический статус кукурузы в зависимости от минерального питания и густоты стояния растений / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина**, А.С. Палийчук // *Нива Поволжья*. – 2022. – № 2(62). – С. 1002.
19. Семина, С.А. Формирование урожайности и качества зерна кукурузы в зависимости от приемов возделывания / С.А. Семина, О.Н. Кухарев **И.В. Гаврюшина**, А.С. Палийчук // *Нива Поволжья*. – 2023. – № 2(66). – С. 1003.

#### **Статьи в журналах Scopus и Web of Science**

1. Fertilizers, growth regulators and biochemical composition of plant / S.A. Semina, S.A. Kshnikatkin, E.V. Zheryakov, **I.V. Gavryushina** [et al.] // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. – 2017. – Vol. 8, No. 6. – P. 775-777.

2. **Gavryushina, I.V.** Photosynthetic Activity the Yield And Biomass Of Maize Depending On Mineral Nutrition / I.V. Gavryushina, S. A. Semina, E.V. Zheryakov // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2018. – Vol. 9, No. 6. – P. 1696-1702.
3. Semina, S.A. The Formation of The Quality of Maize, Depending on The Density of Plants and Fertilizers / S.A. Semina, **I.V. Gavryushina** // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2018. – Vol. 9, No. 2. – P. 650-655.
4. Fertilizers, plant density and nutritional properties of corn grain / S.A. Syomina, A.S. Paliychuk, **I.V. Gavryushina**, I.A. Lysenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Novoivanovskoye, Virtual, 19–20 ноября 2020 года. – Novoivanovskoye, Virtual, 2021. – P. 012036.
5. Changes in the parameters of photosynthetic maize activity with applying micronutrient fertilizers / **I.V. Gavryushina**, S.A. Semina, A.S. Paliychuk, E.V. Nikulina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Volga Region Farmland 2021 (VRF 2021), Penza, 16–18 ноября 2021 года. Vol. 953. – Penza: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 012013.
6. The effect of silicon-containing preparations on yield and grain quality of maize (*Zea mays* L.) on a leached Chernozem (black soil) / S. Semina, **I. Gavryushina**, E. Zheryakov [et al.] // Research on Crops. – 2022. – Vol. 23, No. 1. – P. 46-51.

### Монографии

1. Семина, С.А. Формирование зерновой продуктивности кукурузы в зависимости от уровня минерального питания и густоты стояния растений / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина**, А.С. Палийчук // Агротехнологические основы технологий возделывания сельскохозяйственных культур. – Пенза: ПГАУ, 2018. – С. 190-208.
2. Семина, С.А. Формирование высокопродуктивных агроценозов кукурузы при совершенствовании технологических приемов выращивания / С.А. Семина, А.С. Палийчук, **И.В. Гаврюшина**; Пензенский государственный аграрный университет. – Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2020. – 184 с.

### Статьи в журналах и материалах конференций:

1. **Гаврюшина, И.В.** Регулирование параметров фотосинтеза кукурузы препаратами с микроэлементами / И.В. Гаврюшина, С.А. Семина // Сурский вестник. – 2018. – № 4(4). – С. 25-30.
2. Как удобрения и густота стояния влияют на урожайность кукурузы / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина**, А.С. Палийчук [и др.] // Фермер. Поволжье. – 2018. – № 7(71). – С. 44-47.
3. **Гаврюшина, И.В.** Влияние агроприемов возделывания кукурузы на засоренность посевов и урожайность зерна / И.В. Гаврюшина, С.А. Семина // Сурский вестник. – 2021. – № 2(14). – С. 30-36.
4. **Гаврюшина, И.В.** Влияние минеральных удобрений и гербицидов на биологическую активность почвы в посевах кукурузы / И.В. Гаврюшина, С.А. Семина // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы : Материалы XIII Международной научно-практической конференции. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2017. – С. 78-80.
5. Семина, С.А. Влияние препарата НаноКремний на формирование урожайности зерна кукурузы / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина** // Актуальные вопросы применения удобрений в сельском хозяйстве: Материалы Международной научно-практической конференции – Владикавказ: Горский государственный аграрный университет, 2017. – С. 81-83.
6. Семина, С.А. Приемы возделывания и биохимический состав кукурузы / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина** // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы: Материалы XIII Международной научно-практической конференции. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2017. – С. 127-129.
7. Семина, С.А. Результаты применения препарата НаноКремний на посевах кукурузы / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина** // Инновационные технологии в растениеводстве и



- экологии: Материалы Международной научно-практической конференции. – Владикавказ: Горский государственный аграрный университет, 2017. – С. 36-38.
8. Формирование зерновой продуктивности кукурузы в зависимости от приемов возделывания / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина**, А.С. Палийчук [и др.] // Устойчивое развитие мирового сельского хозяйства: Сборник материалов Международной научно-практической конференции. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2017. – С. 174-175.
9. **Гаврюшина, И.В.** Влияние комплексных удобрений на фотосинтетический потенциал и чистую продуктивность фотосинтеза растений кукурузы / И.В. Гаврюшина, С.А. Семина // Инновационные технологии в АПК: теория и практика : Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2018. – С. 26-29.
10. **Гаврюшина, И.В.** Влияние условий минерального питания на показатели урожайности кукурузы / И.В. Гаврюшина, С.А. Семина // Актуальные проблемы науки и образования в области естественных и сельскохозяйственных наук : Материалы VI Международной научно-практической конференции, Том 1. – Петропавловск: Северо-Казахстанский государственный университет имени академика Манаша Козыбаева, 2018. – С. 34-36.
11. **Гаврюшина, И.В.** Влияние условий минерального питания на показатели урожайности кукурузы / И.В. Гаврюшина, С.А. Семина // Актуальные проблемы науки и образования в области естественных и сельскохозяйственных наук. – 2018. – № 1. – С. 38-41.
12. Семина, С.А. Агроэкологическое обоснование густоты растений кукурузы в зависимости от доз удобрений / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина**, Ю.А. Семина // Инновационные технологии в АПК: теория и практика: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2018. – С. 172-175.
13. Семина, С.А. Биоэнергетическая эффективность возделывания кукурузы на зерно / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина**, Ю.А. Семина // Инновационные технологии в АПК: теория и практика : Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2018. – С. 175-178.
14. Семина, С.А. Комплексные удобрения и биохимический состав / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина** // Роль вузовской науки в решении проблем АПК: сборник статей Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2018. – С. 130-133.
15. Семина, С.А. Приемы возделывания и накопление растительных остатков кукурузы / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина** // Научные исследования - сельскохозяйственному производству: Материалы Международной научно-практической конференции. – Орел: ООО ПФ Картуш, 2018. – С. 52-56.
16. Семина, С.А. Приемы возделывания и формирование урожайности кукурузы / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина** // Теория и практика комплексного применения регуляторов роста, микро- и макроэлементов в растениеводстве: Материалы Международной научно-практической конференции. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2018. – С. 145-151.
17. Семина, С.А. Препараты с кремнием и формирование листовой поверхности кукурузы / С.А. Семина, Е.В. Никулина, **И.В. Гаврюшина** // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы: сборник статей XIV Международной научно-практической конференции. Том 1. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2019. – С. 122-124.
18. Semina, S.A. Dependence of physiological state and yield of corn on conditions of mineral nutrition / S.A. Semina, **I.V. Gavryushina** // International Conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration»- Beijing, China 2019. С.169-176.

19. Semina, S.A. The influence of silicon-containing drug on the formation of productivity of spring wheat / S.A. Semina, I.V. **Gavryushina**, E.V. Nikulina // International Conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration»- Beijing, China 2019 С.182-188.
20. **Гаврюшина, И.В.** Влияние условий выращивания на засоренность посевов кукурузы / И.В. Гаврюшина, С.А. Семина, С.М. Надежкин // Вавиловские чтения - 2020: Сборник статей Международной научно-практической конференции. – Саратов: ООО "Амирит", 2020. – С. 77-79.
21. **Гаврюшина, И.В.** Влияние агротехнических приемов возделывания на динамику формирования листовой поверхности кукурузы / И.В. Гаврюшина, С.А. Семина // Научно-образовательные и прикладные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции : Сборник материалов V Международной научно-практической конференции. – Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2021. – С. 35-38.
22. **Гаврюшина, И.В.** Влияние гербицидов на продуктивность кукурузы / И.В. Гаврюшина, С.А. Семина // Научно-образовательная среда как основа развития интеллектуального потенциала сельского хозяйства регионов России: Материалы Международной научно-практической конференции. – Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2021. – С. 20-21.
23. **Гаврюшина, И.В.** Зоотехнические показатели зерновых кормов в зависимости от условий выращивания / И.В. Гаврюшина, С.А. Семина // Инновационные технологии в зоотехнии и ветеринарии: Сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. – С. 7-11.
24. **Гаврюшина, И.В.** Урожайность зерна кукурузы в зависимости от средств химизации / И.В. Гаврюшина, С.А. Семина // АПК России: образование, наука, производство: сборник статей II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. – С. 42-45.
25. **Гаврюшина, И.В.** Экологическое состояние почвы в зависимости от приемов возделывания кукурузы / И.В. Гаврюшина, С.А. Семина // Охрана биоразнообразия и экологические проблемы природопользования : Сборник статей II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. – С. 32-35.
26. Влияние кремнийсодержащих препаратов на кормовую ценность кукурузы / С.А. Семина, **И.В. Гаврюшина**, А.С. Палийчук, Е.В. Никулина // Кремний и жизнь. Кремнистые породы в сельском хозяйстве : Материалы Национальной научно-практической конференции с Международным участием.– Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2021. – С. 110-115.
27. **Гаврюшина, И.В.** Зависимость кормовой ценности кукурузы от удобрений и густоты растений / И.В. Гаврюшина, С.А. Семина // Региональные проблемы устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях цифровой трансформации : Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 91-93.