

БАМАТОВ ИБРАГИМ МУСАЕВИЧ

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ
МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ
НА ПРИМЕРЕ РАЗЛИЧНЫХ АГРОКУЛЬТУР СЕВЕРНОГО КАВКАЗА**

Специальность 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук**

Работа выполнена на базе отдела агроэкологическая оценка почв и проектирование агроландшафтов» Федеральном государственном бюджетном научном учреждении Федеральном исследовательском центре «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»

Научный консультант:

доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник отдела единого государственного реестра ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»

Духанин Юрий Александрович

Официальные оппоненты

доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор агрономического факультета ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет им. В. Я. Горина»

Ступаков Алексей Григорьевич

доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела агротехники и агрохимии сада ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина»

Кузин Андрей Иванович

доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры «Почвоведение и общая биология», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»

Тиберьков Александр Павлович

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»

Защита диссертации состоится «8» октября 2024 г. в 11-00 часов на заседании диссертационного совета ПДС 2021.002 на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» по адресу: 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8, корп. 2.

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале УНИБЦ (Научная библиотека) РУДН (117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6) и на сайте РУДН: <https://www.rudn.ru/science/dissovet>.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2024 г.

и.о. Ученого секретаря
диссертационного совета ПДС 2021.002,
доктор биологических наук

Игнатов А. Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационного исследования. В современных условиях беспрецедентных вызовов продовольствие и неразрывно связанные с ним минеральные удобрения становятся важнейшим активом мирового рынка, переводя статус агрохимической отрасли в ранг стратегически важнейшей, заметно «потеснив» на этом месте ранее безусловных доминантов сырьевой экономики РФ – отрасли, связанные с углеводородами. Угроза голода в первую очередь для развивающихся стран увязывалась с прогрессивным учащением засух вплоть до аридизации части сельхозугодий. Эти процессы имеют объективный характер, хотя и антропогенный фактор существенен. Для Северного Кавказа (как и для других горных систем планеты) неоспоримым наглядным доказательством глобального потепления является необратимое таяние горных ледников.

Если взять почвы России, то отрицательный баланс питательных веществ в наших почвах уже превысил 140 млн тонн действующего вещества. Дефицит азота составил 56,3 млн тонн, фосфора – 12,3 млн тонн, калия – 75,9 млн тонн, вследствие чего значительная часть урожая формируется за счет почвенных запасов, что приводит к падению плодородия почв. И, соответственно, необходимо как на отечественном, так и на глобальном уровне, производство сельскохозяйственных культур увеличить, модернизировать и защитить, чтобы избежать дефицита предложения, поскольку население Земли имеет тенденцию к росту.

Доминирующая в настоящее время практика применения традиционных форм и систем удобрений не позволяет использовать весь потенциал вносимых элементов питания, причём непроизводительные потери макроэлементов могут достигать 30%. Кроме экономических потерь имеют место негативные экологические последствия как для почв, так и для окружающей среды – эвтрофикация водоёмов, эмиссия парниковых газов. Актуальность наших исследований в том, что предлагаемое нами применение удобрений пролонгированного действия характеризует достаточно редкий случай в природопользовании, когда экономические и экологические приоритеты совпадают.

Степень разработанности темы. Интерес к масштабному использованию удобрений пролонгированного действия возник примерно с середины прошлого века и с тех пор непрерывно возрастает (Мухина и др., 2021). К механизмам пролонгации относится использование удобрений медленного (SlowReleaseFertilizer, SRF) и контролируемого (ControlledReleaseFertilizer, CRF) высвобождения (действия). Обеспечение роста урожайности в связи с глобальной продовольственной безопасностью и доступностью минеральных удобрений, CRF и SRF неоднократно подчёркивалась (Chu и др., 2004; Shoji и Kanno, 1993, 1994). Отмечена перспективность таких удобрений в снижении трудозатрат производства (Веприкова и др., 2020; Мухина, 2021; Пироговская, 2000; Sazzad, 2013).

Особое внимание современных разработок уделяется тому факту, что полимер-модифицированные удобрения (ПМУ) снижают возможные потери питательных веществ, особенно азота, в результате выщелачивания, потерь аммиака и нитрата азота в результате улетучивания в атмосферу. Это существенно снижает риск загрязнения окружающей среды (Koshino, 1993; Ma и др., 2007; Mikkelsen и др., 1994).

Целью исследований являлась оптимизация применения минеральных удобрений, способствующая получению высококачественной продукции и снижению загрязнения агробиоценозов в условиях Северного Кавказа.

Для достижения цели были поставлены **следующие задачи**:

- проанализировать мировой опыт применения удобрений пролонгированного действия (биологические механизмы, формы удобрений, их влияние на продуктивность, технологии производства, инновационные перспективы);

- разработать технологические основы и довести до аппаратной реализации оригинальную установку (реактор) для производства минеральных удобрений пролонгированного действия и рассчитать возможности установки для производства продукции в товарных объёмах;

- изучить биохимические механизмы влияния ПМУ на почвенные процессы, растения, предусмотреть возможность технологического программирования сроков пролонгации;

- разработать лабораторные и производственные методы получения ПМУ на основе: азофоска, моноаммонийфосфат, нитрат калия, нитрат магния и аммиачная селитра;

- разработать методологию применения ПМУ на зерновых (озимая пшеница) и садовых культурах (ягоды, семечковые, косточковые) в различных регионах Северного Кавказа;

- разработать технологию применения полимер-модифицированных удобрений на садовых культурах (ягоды, семечковые, косточковые);

- провести сравнительную оценку эффективности оригинальных ПМУ (основа: азофоска, моноаммонийфосфат, нитрат калия, аммиачная селитра) с зарубежными аналогами (Tagrow, Osmocote, Nutritop и Nitamin);

- разработать на примере земляники садовой комплексную технологию производства оздоровленного посадочного материала с последующим возделыванием на модифицированном агрофоне с применением удобрений пролонгированного действия.

Научная новизна.

1. На основе изучения биохимических механизмов формирования плодородия почвы впервые разработаны технологические основы производства оригинальных ПМУ. Конструкция оригинального реактора V-star защищена Патентом РФ (RU 2667453 C1, Заявка № 2017126789, 2018 г.). Улучшенная новая оригинальная конструкция находится в стадии патентного рассмотрения (Заявка №2023/109134/10/10/019683).

2. Впервые предложена методика технологического программирования времени пролонгации действия биоразлагаемых ПМУ. Технологическая перенастройка реактора для получения требуемых градаций свойств полимер модифицированных удобрений производится с помощью компьютера (микропроцессора). Программное обеспечение защищено Свидетельством Российского фонда алгоритмов и программ для ЭВМ (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021666912, 21.10.2021. Заявка № 2021665802).

3. Впервые установлено, что при применении данных ПМУ значительно усиливаются процессы активации резервов почвенного плодородия – переход из потенциально-доступных соединений макроэлементов в непосредственно-доступные для питания растений.

4. При закладке точного полевого опыта была применена инновационная методика выделения опытных делянок с многокритериальным нивелированием различий, в особенности по освещённости и микрорельефу, что особенно важно для агрорегионов Северного Кавказа.

5. Впервые научно обоснована и апробирована система удобрений пролонгированного действия для плодовых многолетников (семечковых и косточковых) в условиях Северного Кавказа.

6. Теоретически обоснован подход, предполагающий компенсаторную функцию технологически программируемых сроков действия ПМУ при учёте крайне актуальных в настоящее время погодных рисков.

7. Впервые апробирована оригинальная идея, имеющая значительные перспективы – путём смешивания в разных пропорциях ПМУ с различным сроком пролонгации достичь соответствия выделения действующего вещества с фенофазами вегетирующей культуры (имитация подкормок).

Теоретическая и практическая значимость. Отражённые в названии данной работы подходы, связанные как с изучением биохимических механизмов действия предлагаемых нами ПМУ на почвенное плодородие и развитие растений, так и технологические аспекты производства полимер модифицированных удобрений с заданными свойствами и системы их применения. С теоретических позиций открывается новый взгляд на необходимость трансформации традиционных систем применения удобрений именно с позиций повышения плодородия почв за счёт валового пассивного запаса макроэлементов, где предлагаемая нами система удобрений не только обеспечивает модальный агрофон, но и служит своеобразным катализатором активации переходя соединений из потенциально-доступных в непосредственно-доступные формы. С позиций практики землепользования предлагаемые нами системы удобрения не только экономически более эффективны, но и экологически оправданы.

Методология и методы исследования. Методология исследования включала как известные стандартизированные методики (например: оценку доступных растениям элементов питания проводили по определению подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в

модификации ЦИНАО (ГОСТ 26205-91) и определению нитратов ионометрическим методом (ГОСТ 26951-86), содержание гумуса определяли по Тюрину, рН водной вытяжки – стандартными методами), так и оригинальные разработанные нами методики, касающиеся в первую очередь производства ПМУ.

Подробное описание получения полимер-модифицированных удобрений как в лабораторных условиях любым независимым исследователем (для соблюдения принципа воспроизводимости эксперимента), так и с помощью защищаемой работы. Патентно-защищённой нами технологии с помощью реактора типа V-star изложено в Главе 3.

Положения, выносимые на защиту:

- анализ технологической основы производства оригинальных полимер-модифицированных минеральных удобрений конструкции оригинального реактора V-star;

- технологическое программирование времени пролонгации действия биоразлагаемых полимер-модифицированных форм удобрений;

- переход из потенциально-доступных соединений макроэлементов в непосредственно-доступные для питания растений;

- методика выделения опытных делянок с многокритериальным нивелированием различий, в особенности по освещённости и микрорельефу;

- разработка методологии применения полимер-модифицированных удобрений на зерновых (озимая пшеница) и садовых культурах (ягоды, семечковые, косточковые) в различных регионах Северного Кавказа;

- сравнительная оценка эффективности оригинальных полимер-модифицированных удобрений (основа: азофоска, моноаммонийфосфат, нитрат калия, аммиачная селитра) с зарубежными аналогами (Tagrow, Osmocote, Nutritop и Nitamin);

- комплексная технология производства оздоровленного посадочного материала земляники садовой с последующим возделыванием на модифицированном агрофоне с применением удобрений пролонгированного действия.

Степень достоверности и апробация результатов

Экспериментальные данные, приводимые в работе, получены с применением современного оборудования. В процессе лабораторных и полевых исследований использовались современные методы учетов и наблюдений в полном соответствии с ГОСТами и стандартными методами анализа и оценки экспериментального материала. Результаты экспериментов обработаны с применением статистических методов. Выводы работы достоверны при принятом уровне вероятности $P=0,95$.

Материалы диссертации были доложены и обсуждены на 20-и научных конференциях, в том числе за последние 3 года:

На Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию Длительного полевого опыта РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 30 июня 2022 г., г. Москва; Международной научно-

практической конференции ICER – 2022 «Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания», 26-28 октября 2022 г., Республика Беларусь, г. Брест; Международной конференции «Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями», 17-19 мая 2023 г., г. Москва; Всероссийской конференции с международным участием КЛИМАТ 2023 «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования», 9-13 октября 2013 г., г. Москва; Международной ежегодной научно-практической конференции по сельскому хозяйству и биотехнологии IASAB 2023, 17-18 октября 2023 г., Республика Узбекистан, г. Самарканд.

Личный вклад автора диссертации. Заявитель формулировал цели и задачи исследования, разрабатывал схемы экспериментов, собирал и анализировал полученный материал, обрабатывал и интерпретировал данные, готовил публикации как единолично, так и в соавторстве. Диссертационная работа является результатом исследований, проведенных автором при работе в следующих организациях: ФГБОУ ВО Чеченский государственный университет (г. Грозный) 2015-2020 гг., ООО «Научно-производственная фирма «Сады Чечни» (с. Ахмат) 2016-2020 гг., ООО «Инновационная Инженерия» (г. Грозный) 2018-2022 гг., ФБГНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» (г. Москва) 2020-2024 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 33 работы, в том числе 1 коллективная монография, 20 работ в изданиях базы данных Scopus и Web of Science, 5 работ в журналах, включенных в текущий Перечень ВАК РФ, 6 патентов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 9 глав, выводов, предложений производству, списка литературы, приложений. Работа изложена на 332 страницах машинописного текста, содержит 33 таблицы и 65 рисунков.

Список литературы содержит 509 наименований, в том числе 151 иностранных источников и 7 интернет-ресурсов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Во введении обоснованы актуальность темы исследований, степень ее разработанности, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, представлены цель и задачи исследований, положения, выносимые на защиту, степень достоверности результатов и их апробация.

В первой главе проанализированы данные литературы и особенность использования инновационных удобрений в сельском хозяйстве для повышения продуктивности и обеспечения продовольственной безопасности в условиях растущего населения и ограниченных земельных ресурсов. Особое внимание уделяется роли России в мировом продовольственном обеспечении, росту ее доли на мировых рынках и внедрению технологий пролонгированного и контролируемого высвобождения удобрений для устойчивого земледелия.

Во второй главе представлены объекты исследования, агробиоценозы в различных административных единицах Северного Кавказа (Чеченская Республика, Ставропольский край) с возделыванием зерновых (озимая пшеница), а также плодово-ягодных культур (земляника садовая, семечковые, косточковые). Предметом исследования были оригинальные ПМУ пролонгированного действия – производство, технологии внесения, влияние на биохимические процессы в агробиоценозах, детерминирующие показатели почвенного плодородия и развития культур. Исследования по изучению влияния ПМУ проводились в 2018-2022 гг., в двух субъектах федерации Северо-Кавказского региона, Чеченской Республики и в Ставропольском крае. Исследованиями было охвачено три группы культур: зерновые (озимая пшеница); ягодные (земляника садовая); плодовые.

В таблицах 1, 2, 3 приводятся данные, характеризующие эксперименты для всех этих групп культур.

Таблица 1. Характеристики экспериментов по применению ПМУ на озимой пшенице

Место проведения эксперимента	Годы	Сорт	Виды применяемых ПМУ
Опытный стационар Чеченского НИИСХ, г. Грозный	2018-2022	Бумба	Азофоска 5%, 10%, 15%, 20%.
Курский район, Ставропольского Края, ООО «СтавАгроКом»	2018-2022	Княгиня Ольга	Азофоска 5%, 10%, 15%, 20%.

Таблица 2. Характеристики экспериментов по применению ПМУ на землянике садовой

Место проведение эксперимента	Годы	Сорт	Виды применяемых ПМУ
ООО Научно-производственная фирма «Сады Чечни»	2018-2023	Профюжен, Ирма и Елезаветта-2	Азофоска 10% и МАФ 10%

Таблица 3. Характеристики экспериментов по применению ПМУ на плодовых многолетниках (косточковые, семечковые)

Место проведения эксперимента	Годы	Сорт	Виды применяемых ПМУ
ООО Научно-производственная фирма «Сады Чечни»	2018-2022	Яблоня: Женева Эрли, Гала и Ренет Симиренко	Азофоска 10%, МАФ 10%, нитрат калия 10%, нитрат магния 10% и аммиачная селитра 10%.
ООО Научно-производственная фирма «Сады Чечни»	2018-2022	Груша: Талгарская красавица	Азофоска 10%, МАФ 10%, нитрат калия 10%, нитрат магния 10% и аммиачная селитра 10%.

ООО Научно-производственная фирма «Сады Чечни»	2018-2022	Слива: Кабардинская ранняя, Стэнлей	Азофоска 10%, МАФ 10%, нитрат калия 10%, нитрат магния 10% и аммиачная селитра 10%.
ООО Научно-производственная фирма «Сады Чечни»	2018-2022	Нектарин: Биг Топ	Азофоска 10%, МАФ 10%, нитрат калия 10%, нитрат магния 10% и аммиачная селитра 10%.
ООО Научно-производственная фирма «Сады Чечни»	2018-2022	Черешня: Эйфория	Азофоска 10%, МАФ 10%, нитрат калия 10%, нитрат магния 10% и аммиачная селитра 10%.

Уровень внесения удобрений на Северном Кавказе может варьироваться в зависимости от конкретных условий, но обычно он выше, чем в менее интенсивных сельскохозяйственных регионах из-за высокой степени истощения почв. На Северном Кавказе популярны такие методы применения удобрений, как предпосевное внесение, ленточное удобрение при посеве и подкормки в течение вегетационного периода. Динамика внесения минеральных удобрений на Северном Кавказе за последние 5 лет показывает положительную динамику (Рисунок 1).

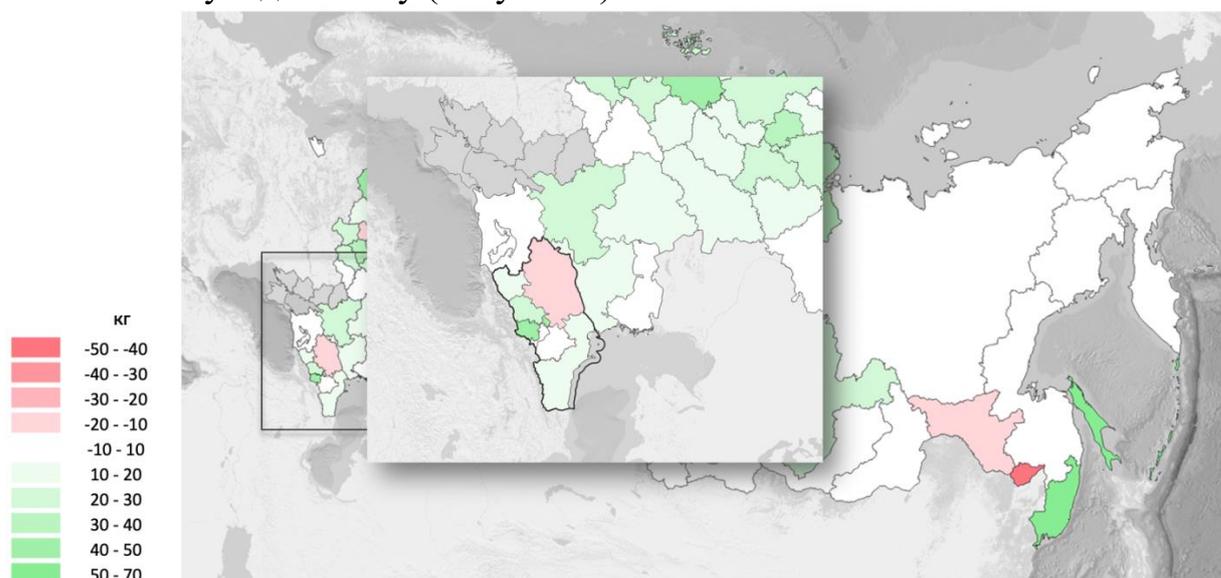


Рисунок. 1. Динамика вносимых минеральных удобрений в пересчете на 100% питательных веществ на 1 гектар посева с 2018 по 2022 годы на Северном Кавказе (rosstat.gov.ru)

Из семи административных единиц Северо-Кавказского региона, четыре демонстрируют увеличение применения минеральных удобрений в сравнении с данными пятилетней ретроспективы. В то же время Ставропольский край, являясь единственным из упомянутых субъектов, показал снижение объемов внесения минеральных удобрений за аналогичный период.

В третьей главе продемонстрирован сконструированный нами патентно-защищенный реактор V-star (рисунок 2), позволяющий получать

формы ПМУ на основе традиционных минеральных удобрений и биоразлагаемых полимеров. В качестве основных полимеров нами широко апробирован крахмал и поливиниловый спирт.

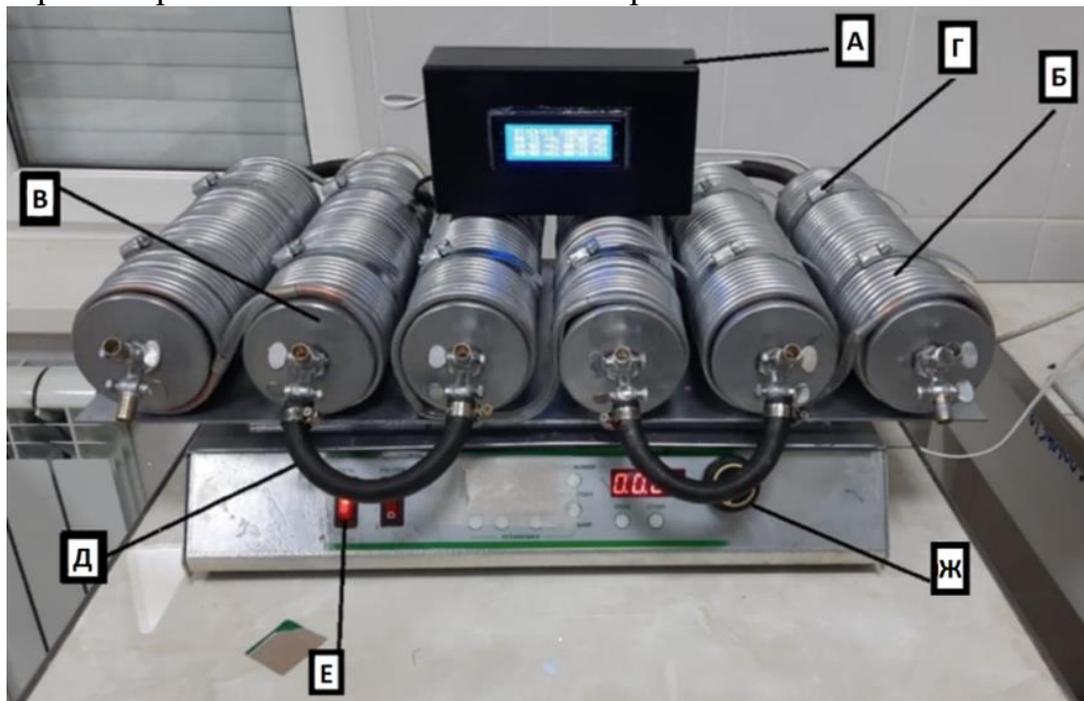


Рисунок 2. Проточный химический реактор непрерывного смешивания жидкостей (вид спереди)

Важной технологической новацией является применение в качестве окислителя такого доступного средства, как лимонная кислота. На рисунке 2 представлен сконструированный, патентно-защищённый и постоянно совершенствуемый нами реактор V-star для производства ПМУ пролонгированного действия. Разработанное программное обеспечение системы управления температурными режимами многостадийного реактора для непрерывного смешивания жидкостей позволяет в реальном времени следить за температурой на всех стадиях реактора, в процессе модификации минеральных удобрений биоразлагаемым полимером и, соответственно, реагировать оператору на любые изменения (экзо- и эндотермия) после добавления новых реактивов в проходящую реакцию.

В четвертой главе показано, что при увеличении концентрации лимонной кислоты на 5% (концентрация лимонной кислоты рассчитывается к полимеру), то рН 0.1 М раствора меняется:

- азофоска+5% ПВС – изменение рН от 4.2 до 3.4
- моноаммонийфосфат+5% ПВС – изменение рН от 3.9 до 3.6
- нитрат калия +5% ПВС – изменение рН от 7 до 5.9
- нитрат магния +5% ПВС – изменение рН от 5.8 до 5
- аммиачная селитра +5% ПВС – изменение рН от 6.3 до 5.5.

Соответственно, эти данные дают возможность контролировать кислотность ПМУ в оптимальной «шкале». Также было установлено, что при концентрации более 5% лимонной кислоты к полимеру в продукте связка реагирующих веществ более стабильная (сильная), и таблетированные

удобрения (продукт) не крошатся «моментально» после внесения в почву, а в противном случае, таблетированные ПМУ размельчаются после первой недели внесения в почву, что приводит к минимуму эффективности от применения медленнодействующих минеральных удобрений в системе питания растений.

В лабораторных условиях (при 25°C) учитывая массу гранулы 5 г, при 5% концентрации полимера полное высвобождение действующего вещества в среднем занимало 26 недель, при 10% – 27 недель, 15% – на 7 неделе происходило разрушение гранулы с массой 4 г, 20% – гранула разрушалась на 6 неделе при массе 4.2 г. Пикселограмма скорости высвобождения действующего вещества в различных типах удобрений и концентрации полимера, в тепличных и лабораторных условиях без учета высвобождения после разрушения гранул удобрений приведена на рисунке 3.

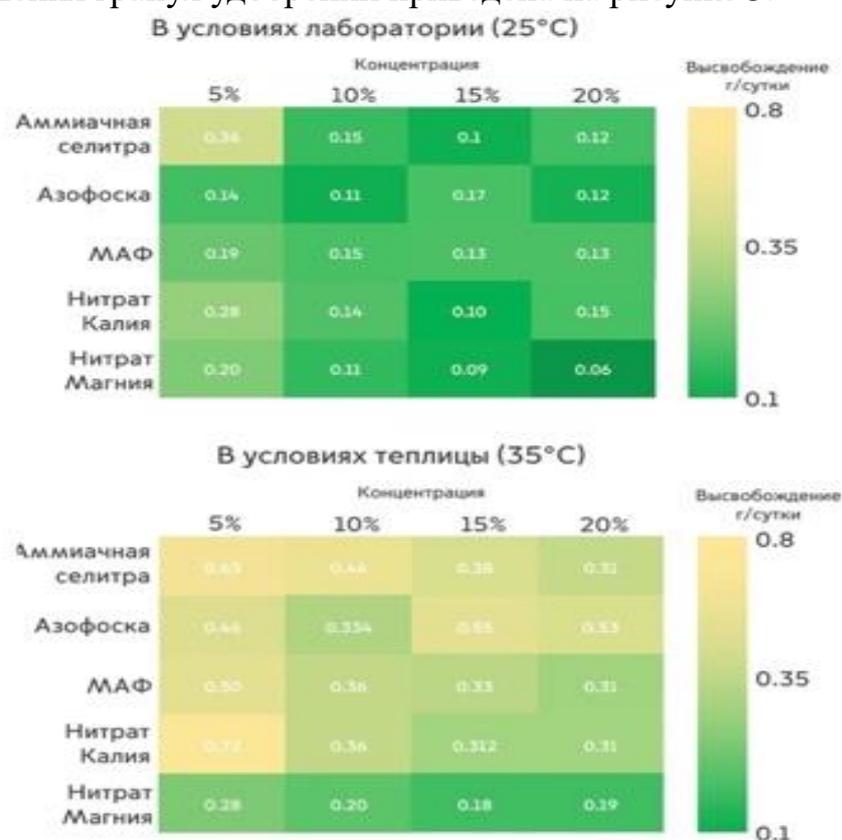


Рисунок 3. Пикселограмма скорости высвобождения действующего вещества при разных температурах

В условиях теплицы (при 35°C) при 5% концентрации Азофоски гранула азофоски израсходовалась за 10 недель, при 10% – за 13 недель, при 15% – за 7 недель, при 20% разрушение гранулы произошло на 5 неделе с массой 2.4 г.

Полимерная модификация минеральных удобрений в лабораторных условиях проводилась следующим образом: В стакане, в соотношении 1:1 растворяли минеральное удобрение в воде, температуру раствора поднимали до 50°C, перемешивая раствор магнитной мешалкой. Параллельно, во втором стакане растворяли поливиниловый спирт (ПВС) в воде в соотношении 1:5 при температуре 70°C, используя магнитную мешалку (600 оборотов в

секунду) до образования однородной желеобразной суспензии. Оба раствора смешивались с добавлением лимонной кислоты в соотношении 1:10 по массе полимера. После добавления лимонной кислоты увеличивали скорость магнитной мешалки до 900 оборотов в секунду. Температуру химического раствора поднимали до 80°C и продолжали перемешивать до получения однородной суспензии, давали продукту остыть до комнатной температуры в течении 24 часов с последующим помещением в холодильную камеру (+10°C) на 24 часа. Охлаждённый продукт затем проходил процесс вакуумного фильтрования. Далее высушенный материал таблетировался таблеточным прессом. Методология модификации минеральных удобрений с использованием сконструированного реактора V-star в производственном масштабе приведены ниже и на рисунке 4.

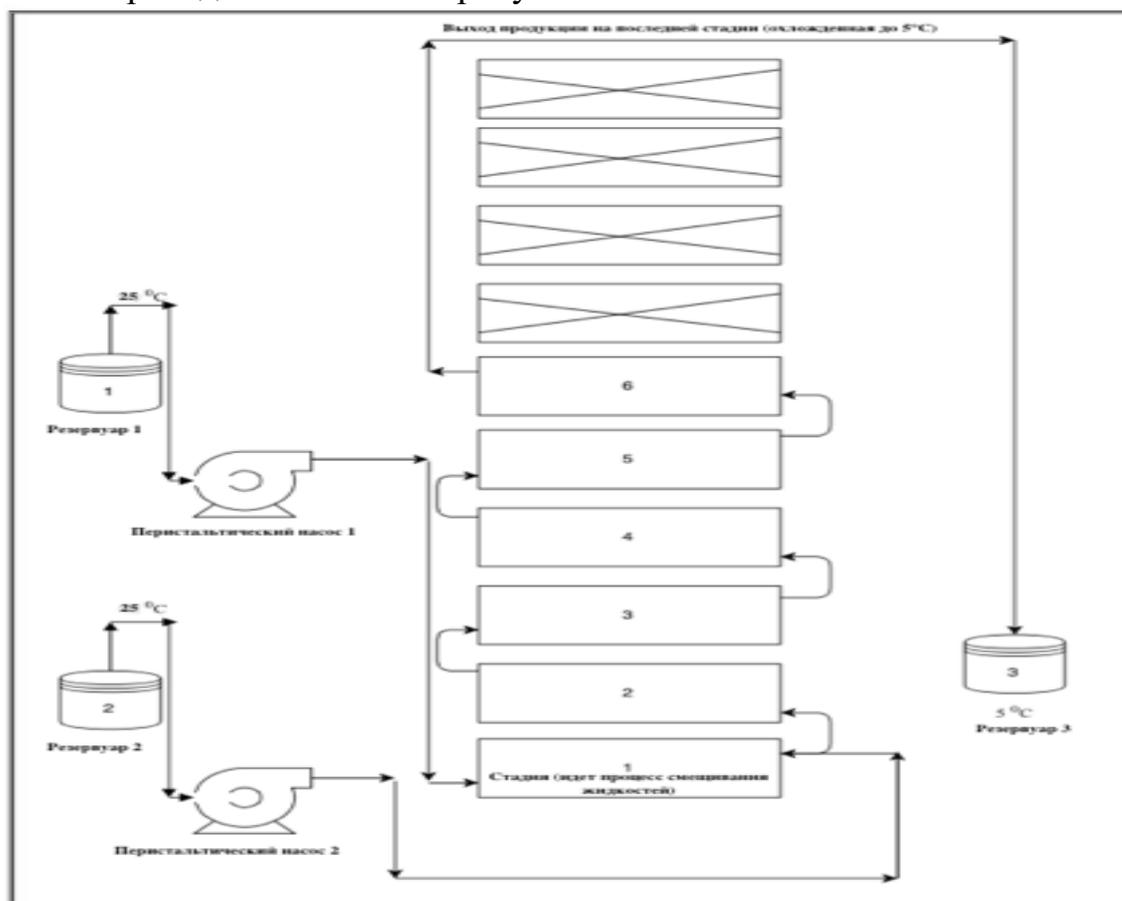


Рисунок 4. Схематическая иллюстрация проведения ПМУ в производственном масштабе с использованием оригинального проточного реактора V-star

Технологические параметры подготовки первичных растворов (раствор минерального удобрения) + (раствор ПВС + лимонная кислота) соответствуют вышеизложенным параметрам лабораторной методики, однако, после закачивания перистальтическими насосами в реактор исходных растворов реакция происходит в 6 стадий с достижением максимальной температуры в 80°C. Изготовленный реактор имеет следующие характеристики: минимальная производительность реактора – 200 мл в час; количество ступеней смешения – 6; максимальная скорость производства – 100 литров в

час, что соответствует 10 кг сухого ПМУ в час; минимальная и максимальная скорость перемешивания – 10 и 400 колебательных движений в минуту соответственно.

Технологические характеристики реактора V-star открывают возможности программирования времени пролонгации действия получаемых модифицированных форм минеральных удобрений, при определенных температурных режимах и влажности. В лабораторных условиях были проведены широкомасштабные эксперименты по определению концентраций реагирующих веществ для программирования скорости высвобождения элементов питания в диапазоне 1 – 6 м.

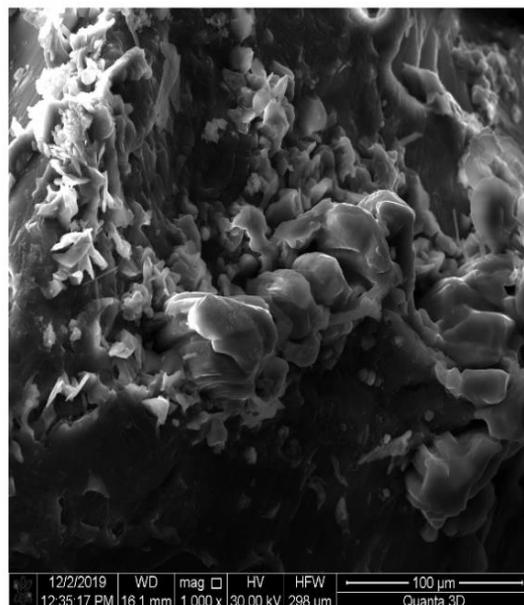
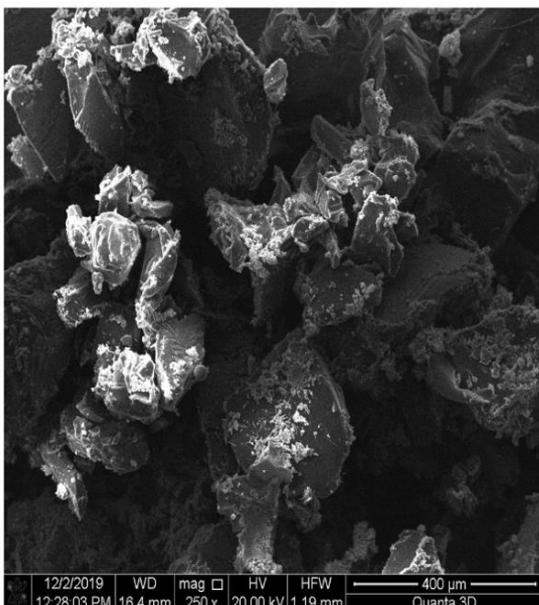


Рисунок 5. СЭМ ПМУ азофоска. Распределение реагирующих веществ при увеличении X1000

Рисунок 6. СЭМ ПМУ азофоска. Распределение реагирующих веществ при увеличении X250

На СЭМ (сканирующий электронный микроскоп) микрофотографиях (рисунки 5, 6) на всех изображениях отчётливо видна развитая мелкозернистая структура пленочных композитов с достаточно равномерным распределением ПВС, что в свою очередь дает обоснованность использования проточного реактора V-star в модификациях минеральных удобрений. Однако, необходимо отметить и тот факт, что видимые в электронный микроскоп границы «зерен - полимера» в большинстве случаев размыты, что указывает на частичную смешиваемость компонентов на межфазных границах. Такая морфология на СЭМ-микрофотографиях свидетельствует о формировании двух фаз (аморфной и кристаллической) в структуре полимерного композита.

В пятой главе представлены результаты исследований, которые проводились с 2018 по 2022 годы в производственных условиях в Курском районе Ставропольского края (ООО «СтавАгроКом»). С целью определения влияния полимерной модификации минеральных удобрений был заложен микроделяночный опыт на посевах озимой пшеницы, сорт «Княгиня Ольга». Площадь делянок составляла 25 м². Подкормка проводилась традиционным

минеральным удобрением (NPK – 16:16:16) из расчета 200 кг/га. Таблица 4 представляет собой перечень вариантов систем питания растений и почвы для повышения урожайности и демонстрирует различные методики обогащения почвы, включая классическое удобрение и более сложные комбинации с добавками (удобрения пролонгированного высвобождения).

Таблица 4. Схема опыта.

Контроль (без удобрений)	Без подкормки
Вариант 1	NPK 16:16:16
Вариант 2	NPK 16:16:16 + Биополимер + вода
Вариант 3	NPK 16:16:16 + биополимер + лимонная кислота

Оценка влияния биополимерной модификации удобрений проводилась посредством подсчета количества стеблей и по изменению агрохимических почвенных параметров в динамике. Повторность 3-х кратная. Агрохимический анализ почвы проводился в лаборатории ООО «Агрохимия» (КБР, г. Нарткала), почвенные образцы № 215-239. Используются стандартные методики. Результаты опыта свидетельствуют, что ПМУ положительно влияют на потенциальную продуктивность озимой пшеницы, стимулируя увеличение количества стеблей.

Таблица 5. Количество стеблей озимой пшеницы (средние данные за 2018-2022 гг.).

Варианты	Годы	
	2018-2020 г.	2021-2022 г.
Контроль	163	149
	131	119
	144	143
Вариант 1	147	137
	151	149
	170	176
Вариант 2	194	201
	168	181
	157	150
Вариант 3	158	179
	194	212
	170	181

Таблица 5 иллюстрирует превосходство ПМУ, благодаря которым количество стеблей в эксперименте возрастает примерно на 18% (при рассмотрении вариантов 3 и 4) по сравнению с контрольной группой. В то время как традиционное удобрение (вариант 1) улучшает данный показатель лишь на 6,7%. Сравнивая вариант 1 с вариантами 2 и 3 можно заметить, что длительное воздействие удобрений усиливает рост стеблей на дополнительные 11%.

Диаграмма (рисунок 7) демонстрирует, что суммарное содержание минерального азота в почве варьирует в зависимости от времени отбора. На

контрольном участке и в варианте с применением NPK (вариант 1) наблюдается рост концентрации азота ко второй временной точке и последующее снижение к третьей временной точке. Снижение составляет 21 и 4,1% соответственно. В то же время сумма минерального азота в вариантах 2 и 3 продолжает расти на протяжении всего периода наблюдения. Рост составил 24,3% (вариант 2) и 51,5% (вариант 3).

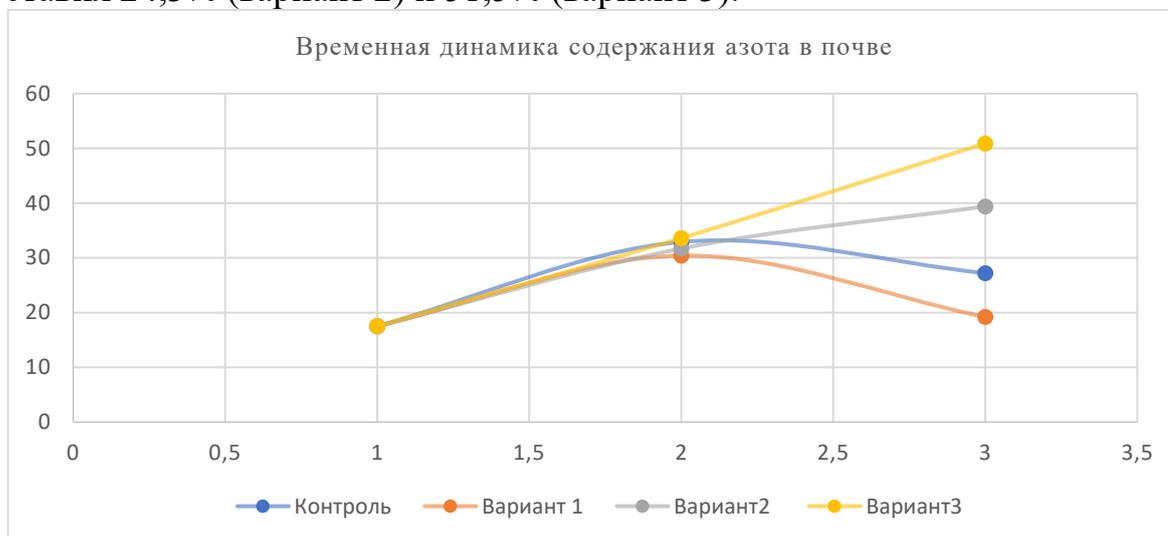


Рисунок 7. Динамика содержания минерального азота в почве, мг/кг

Изменение содержания минерального азота в почве под влиянием биополимера свидетельствует о его положительном влиянии на микробиологическую активность, в том числе дыхание почвы, в результате чего образующийся углекислый газ улучшает пищевой режим почвы. В экспериментах 2 и 3 использовались, соответственно, вода и раствор лимонной кислоты. Анализ диаграммы (рисунок 8) указывает на то, что уровень минерального азота в почве у варианта 3, в сравнении с вариантом 2 (с добавлением воды и биodeградируемого полимера), увеличился на 29,2%. Эти данные предполагают возможность получения зерна озимой пшеницы в варианте 3 с улучшенными параметрами качества.

Исходя из предоставленных данных, можно сделать следующие выводы:

По содержанию фосфора (P_2O_5): Контроль и Вариант 1 показывают схожую динамику концентрации фосфора в почве: небольшой рост после первого отбора, после чего показатель стабилизируется. Вариант 2 демонстрирует значительное увеличение концентрации фосфора после второго отбора, что может говорить о наиболее эффективной усвояемости данного элемента в этом варианте. Вариант 3 показывает небольшое уменьшение уровня P_2O_5 к третьему отбору, что может свидетельствовать о его интенсивном использовании растениями или менее эффективной усвояемостью.

По содержанию калия (K_2O): после второго отбора в варианте Контроль наблюдается заметный рост концентрации калия, к третьему отбору его уровень падает до значений даже ниже исходных. Вариант 1 и Вариант 3 показывают снижение уровня K_2O к третьему отбору, причем в Варианте 3

падение наиболее выраженное. Вариант 2 выделяется устойчивым увеличением концентрации калия, что может указывать на его лучшую усвояемость или меньшую потребность растений в калии в этом варианте.

Вариант 2, по-видимому, является наиболее перспективным в плане обогащения почвы фосфором и калием. Длительное выделение элементов питания способствует постепенному увеличению концентрации макроэлементов во время развития растений через различные фенологические этапы. Содержание подвижного калия под действием полимера в Варианте 2 по отношению к контрольному варианту во втором отборе возрастает на 14,1%; по отношению к эталону (Вариант 1) – на 17,5%.

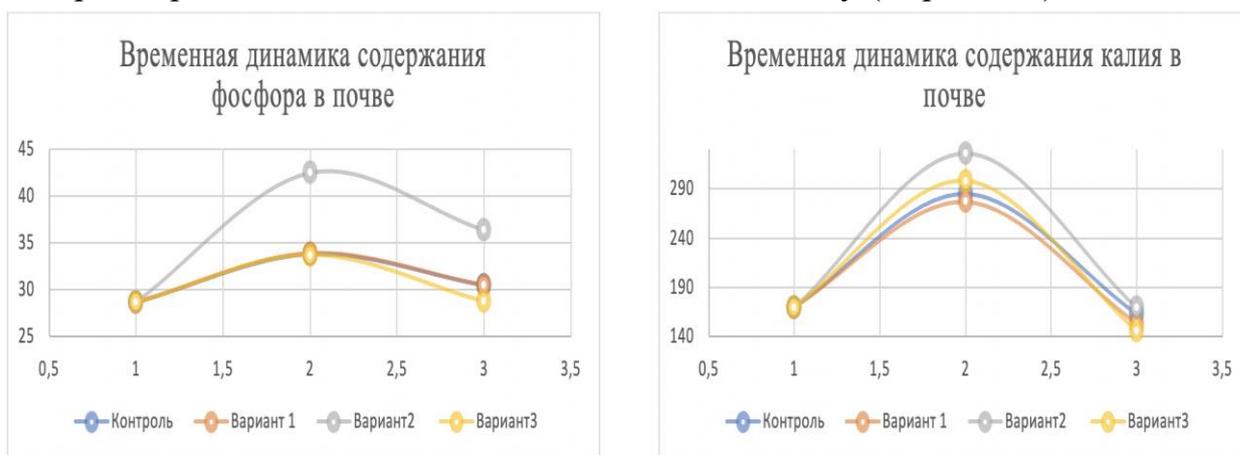


Рисунок 8. Динамика содержания подвижного фосфора и калия в почве

В последнее время все чаще отмечается, что почвенный фактор, ограничивающий урожайность, сместился от минерального компонента к органическому. Совершенствование системы питания растений на основе учета основных параметров почвы и отзывчивости сельскохозяйственных культур – гарантия повышения продуктивности отрасли растениеводства. Включение в систему минерального питания растений полимерных соединений, в частности поливинилового спирта, а также производство соответствующих удобрительных смесей на высоком технологическом уровне отвечает запросам современной отрасли растениеводства.

Перед проведением подкормки отбирались почвенные образцы для сравнения влияния азофоски и полимера на агрохимические показатели почвы.

Характеристики полученного урожая в разных вариантах опыта (таблица 6) показывают, что на контрольном участке и в варианте с применением минерального удобрения без добавления полимера было собрано минимальное количество урожая – 32,8 ц/га. На фоне повышенной по калию и высокой по фосфору обеспеченности почвы прироста урожая от внесения минерального удобрения (200 кг/га) не наблюдалось, т.е. внесение азофоски не было эффективным.

Таблица 6. Характеристики урожая озимой пшеницы в вариантах опыта (среднее значение и стандартное отклонение для 3 аналитических повторностей)

Вариант	Нитратный	Сырой	Белок, %	Клетчатка,	ИДК	Урожай,
---------	-----------	-------	----------	------------	-----	---------

опыта	азот, %	протеин, %		%		кг/га
Без удобрений	2,53 ± 0,03	15,80 ± 0,17	14,4 ± 0,1	25,2 ± 0,5	59 ± 2	3280
Азофоска	2,67 ± 0,06	16,60 ± 0,34	15,2 ± 0,3	28,4 ± 0,6	60 ± 2	3280
Азофоска+П3	2,67 ± 0,03	16,60 ± 0,17	15,2 ± 0,2	27,7 ± 0,8	53 ± 2	3480
Азофоска+П5	2,50 ± 0,00	15,60 ± 0,00	14,3 ± 0,0	26,0 ± 0,2	57 ± 1	3560
Азофоска+П7	2,52 ± 0,03	15,70 ± 0,17	14,4 ± 0,1	27,3 ± 0,1	49 ± 1	3980

Объяснением для роста урожая с увеличением дозы полимера в удобрении является повышение эффективности использования питательных элементов растением за счет их замедленного высвобождения согласно исходному предположению о действии полимера на растворимость удобрения в почве.

Таким образом, изученные почвенные свойства по отдельности, в отличие от урожая и его характеристик, ввиду сложных взаимосвязей очевидно не коррелируют с дозой полимера в удобрении. Чтобы оценить общую картину изменения почвенных свойств на рисунке 9 приведен результат анализа почвенных свойств методом главных компонент. Полученная кластеризация в координатах первых двух компонент (в сумме объясняют 65% варьирования данных) показывает значимые различия в свойствах почвы под разными вариантами опыта.

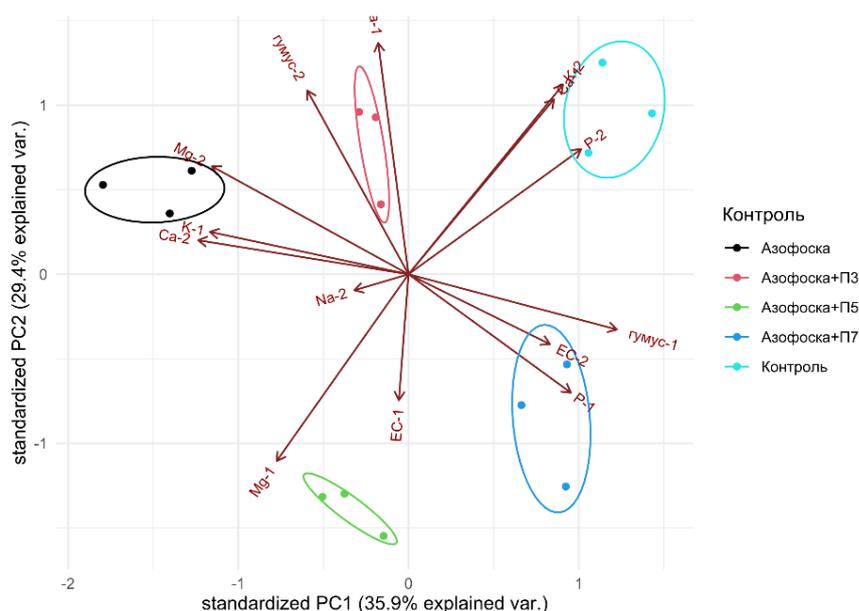


Рисунок 9. Группировка вариантов опыта в координатах двух первых главных компонент.

Как было указано выше, рост урожая положительно коррелирует с дозой полимера в удобрении. Предполагаемой причиной этому может быть увеличение эффективности использования питательных элементов в присутствии полимера. Баланс подвижных форм питательных элементов в

почве к концу сезона вегетации связаны как с их поглощением растением, так и с переходом между подвижной и неподвижной формами и с выносом за пределы пахотного горизонта, из которого отбирали образцы почвы для анализа.

Для закладки эксперимента было решено тщательно подойти к его планированию на самом современном уровне, а именно, максимально нивелировать при выборе опытных участков различия по всем возможным для учёта абиотическим факторам. Задача решалась в два этапа. На первом этапе, среди опытных полей (производственных участков) Чеченского НИИСХ вычислялся наиболее однородный производственный участок, затем на нём определялись опытные деланки с минимальными различиями.

Производился учёт неоднородностей для всех опытных полей. Для всего контура опытных полей была выполнена фотограмметрическая съёмка цифровой модели рельефа, используя беспилотное воздушное судно DJI MavicPro 2, оборудованного геодезической системой GNSS TOPODRONE.

По результатам съёмки в программе AgisoftMetashape было получено плотное облако точек местности, на основании обработки и анализа которого методом латинского квадрата в среде R были спланированы точки проведения почвенно-ландшафтных описаний, что позволило выявить наиболее агрономически-однородный участок 12 га. На втором этапе, используя метод латинского гиперкуба (библиотека LGC в среде R), внутри выбранного участка 12 га были выбраны 4 точки (деланки) для закладки опыта проведения почвенно-ландшафтного описания участка заложения опыта (рисунок 10).

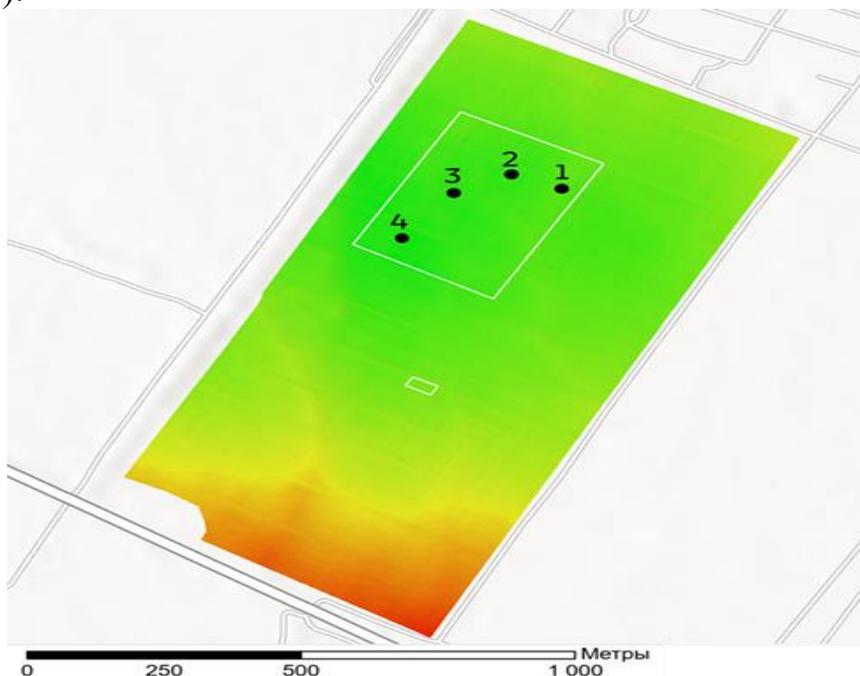


Рисунок 10. Цифровая модель рельефа участка, границы заложения опыта и точки проведенных почвенно-ландшафтных описаний

На этих 4-х деланках располагались 4 повторности эксперимента в 7-и вариантах. Всего 28 учётных субделанок опыта. Проведенный учет полевой всхожести выявил влияние применяемых удобрений на полевую всхожесть. В

зависимости от вариантов количество всходов на 1 м² варьировало от 276 до 352 шт. (таблица 7).

Таблица 7. Всхожесть озимой пшеницы в зависимости от применяемых удобрений, шт./м²

№	Вариант	Повторение				Средняя
		I	II	III	IV	
1.	Без удобрений	276	309	298	303	287
2.	ПМУ -5%	296	326	335	318	319
3.	ПМУ -10%	323	326	352	334	334
4.	ПМУ -15%	321	346	338	335	335
5.	ПМУ -20%	336	351	343	340	343
6.	Азофоска	280	321	328	327	314
7.	Комплексное	312	294	330	308	311
НСР ₀₅						23,2

Наименьшее количество всходов в среднем 287 шт. насчитывалось в контрольном варианте. В вариантах, удобренных азофоской и комплексным удобрением, наблюдалась тенденция повышения всхожести семян на 24-27 шт./м² (8-9%). Значительная прибавка всходов на 12,8-15,5% по отношению к контролю отмечалась в вариантах с использованием ПМУ, начиная с концентрации 10% и выше. Полевая всхожесть в посевах, обработанных ПМУ, превышала не только контроль, но и варианты с азофоской и комплексным удобрением на 10%.

По количеству продуктивных колосьев преимущество имели варианты ПМУ 15 и 20%, превосходящие контроль на 15-16%, а азофоску и комплексные удобрения – на 12-14% (таблица 8). В тех же вариантах количество зерен в колосьях было больше на 14 и 21%, чем в контроле, и на 7-13% больше, чем в вариантах с азофоской и комплексным удобрением.

Таблица 8. Структура урожая озимой пшеницы в зависимости от применения ПМУ, в среднем за 2018-2022 гг.

Вариант	Высота растений, см	Кол-во колосьев, шт./м ²	Средняя длина колоса, см	Кол-во зерен в колосе	Масса зерен в колосе, г	Масса 1000 семян, г
Без удобрений	83	452	8	28	0,9	38
ПМУ 5%	85	462	8	29	1,0	37
ПМУ 10%	83	488	9	32	1,1	34
ПМУ 15%	83	518	8	32	1,2	35
ПМУ 20%	85	526	9	34	1,2	37
St (азофоска)	84	460	9	30	1,1	36
Комплексное уд.	84	465	9	31	1,0	35
НСР ₀₅	F _φ <F ₀₅	40,9	0,7	2,6	F _φ <F ₀₅	F _φ <F ₀₅

Прибавка урожайности по отношению к контролю на 8,7% наблюдалась в варианте с ПМУ 5%, что на уровне с азофоской (таблица 9). Немногим отличалась урожайность зерна в вариантах с ПМУ 10% и Комплексное удобрение (5,4 и 5,3 т/га соответственно). Максимальной урожайностью 6,3 т/га отличался вариант с применением ПМУ в концентрации 20%, немногим (на 0,5 т/га) отличался от него и вариант с

концентрацией ПМУ 15%. Прибавка урожайности зерна в этих вариантах (ПМУ 15% и ПМУ 20%) превышала контроль на 26-37%. Прибавка урожайности в этих вариантах по отношению к эталонному контролю Азофоска составляла соответственно 16-26%, а по отношению к Комплексным удобрениям – 9-19%.

Таблица 9. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от применения ПМУ, в среднем за 2018-2022 гг.

Вариант	Урожайность, т/га	Отклонение	
		т/га	%
Без удобрений	4,6	0	0
*ПМУ -5%	5,0	0,4	8,7
ПМУ -10%	5,4	0,8	17,4
ПМУ -15%	5,8	1,2	26,1
ПМУ -20%	6,3	1,7	37,0
Азофоска	5,0	0,4	8,7
Комплексное	5,3	0,7	15,2
НСР	0,45	-	-

Таким образом, полимеризация минеральных удобрений органическими веществами способствует лучшему развитию пшеницы и получению качественного зерна, поскольку углеродные соединения положительно влияют на внутренние процессы в растительном организме и ускоряют образование белковых веществ.

Расчет баланса элементов в почве: расчет баланса элементов в пахотном слое почвы (0-30 см) производили на момент колошения, когда основная биомасса озимой пшеницы уже сформировалась. Для учета выноса основных элементов питания с урожаем применяли следующие величины на 1 т урожая: 33 кг азота, 12 кг фосфора, 24 кг калия. Для перевода площадной нормы внесения в единицы концентрации плотность пахотного слоя принимали равной 1,3 г/см³. Баланс питательных элементов определяли как разницу между начальными и конечными (на момент колошения) содержаниями питательных элементов в почве с учетом количеств внесенных с удобрением и выносимых с урожаем.

Величины, приведенные для первой фазы кущения на рисунке 11, показывают, что описанные общие тренды изменений начали формироваться в почве уже на стадии фазы кущения озимой пшеницы. Снижение нитратного азота в почве не покрывает эту разницу, более того, в почве наблюдается накопление подвижных форм: для фосфора – от 50 до 150% относительно исходного содержания, и для калия – от 4 до 30% в разных вариантах опыта. В условиях проводимого эксперимента рассчитанный баланс элементов питания между вносом и выносом, учитывая изменения в почве, можно отнести только за счет мобилизации этих элементов из почвы.

На диаграмме состояния почвы (рисунок 12) показано состояние почвы в конце эксперимента в координатах показателей плодородия относительно ее начального состояния. Чем меньше скорость растворения азофоски, тем больше выражена прибавка показателей плодородия.

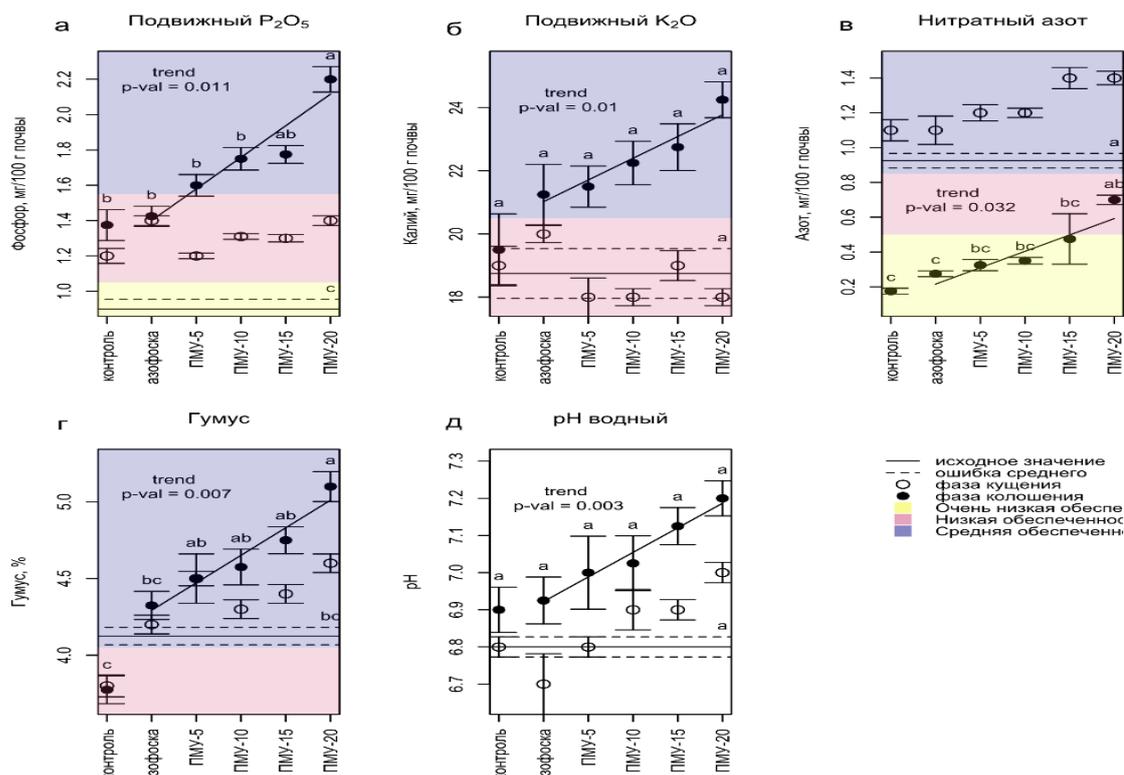


Рисунок 11. Показатели плодородия почвы в разных вариантах опыта в фазу кушения и фазу колошения относительно базовой линии (исходные значения до посева). Цветовой фон отражает зоны обеспеченности почвой показателем плодородия

Запасы фосфора и калия, особенно в черноземах, считаются довольно большими, и их использование в дополнение к удобрениям пролонгированного действия может хватить на несколько десятков лет.

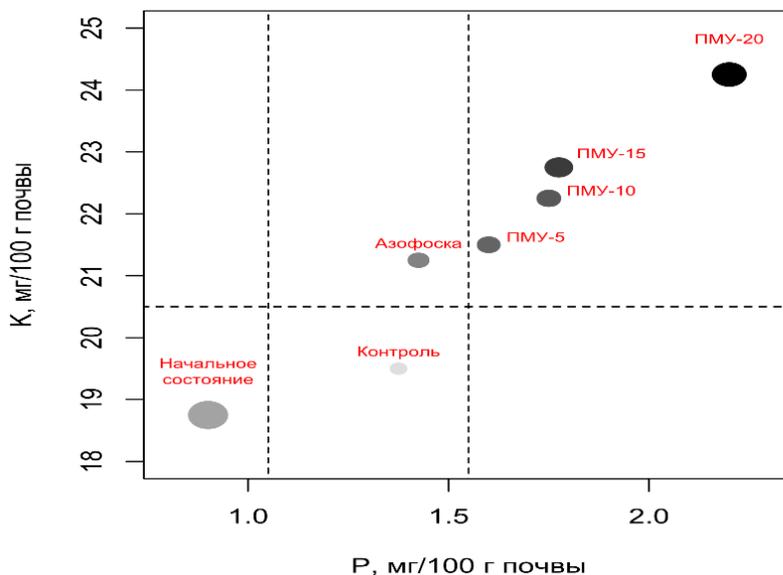


Рисунок 12. Диаграмма состояния почвы на момент фазы колошения в координатах показателей плодородия почвы (подвижные фосфор, калий, нитратный азот и гумус) для всех вариантов опыта относительно начального состояния почвы. Пунктиром обозначены соответствующие зоны обеспеченности для данной почвы

Таким образом, удобрения пролонгированного действия являются эффективными, поскольку плановая урожайность может быть достигнута с меньшим расходом минерального удобрения по сравнению с его быстрорастворимой формой (опыты в Ставропольском крае и в Чеченской Республике). Влияние ПМУ на почвы задействует почвенный процесс мобилизации внутренних почвенных ресурсов, с помощью которого возможно одновременно повышение уровня плодородия почвы и экономия затрат на удобрения.

В шестой главе рассмотрены результаты экспериментальных работ, в которых были исследованы яблоня и груша, сорта яблони (ранний сорт – Женева Эрли, сорт среднего срока созревания – Гала Шнига и зимний сорт (сорт позднего срока созревания) – Симиренко и груша сорта Талгарская красавица. Соответственно, генетически однородный и безвирусный материал был испытан на агротехнологические «приемы» применения различных форм (традиционные и удобрения пролонгированного свойства) на изменения агрохимических свойств почвы, также урожайность плодовых культур – яблоня и груша, сорта яблони (ранний сорт – Женева Эрли, сорт среднего срока созревания – Гала Шнига и зимний сорт (сорт позднего срока созревания) – Симиренко и груша сорта Талгарская красавица, черешня (Эйфория), слива (Кабардинская ранняя), персик – Биг топ.

Полевой опыт проводился в плодовом саду косточковых и семечковых культур ООО «Научно-производственная фирма «Сады Чечни» с 2018 по 2022 годы. Почва опытного участка – южный чернозем карбонатный, суглинистый. Были отобраны образцы почв, которые были проанализированы в лаборатории ФГБУ «Станция агрохимической службы «Кабардино-Балкарская». Система применения удобрений предусматривала внесение минеральных удобрений в дозе, рассчитанной на планируемую урожайность озимой пшеницы 30 т/га. Внесена доза каждого варианта удобрений на соответствующие ряды плодовых деревьев из расчета 200 кг/га. Азофоску (традиционная система питания) применяли в качестве эталона для сравнительной оценки эффективности ПМУ. Система капельного полива также присутствовала в плодовом саду косточковых и семечковых культур.

Схема опыта: Приведены 5 различных вариантов применения системы питания плодового сада ПМУ из расчета 200 кг на га: 1. 5% ПМУ; 2. 10% ПМУ; 3. Контроль – без удобрений; 4. Азофоска 200 кг/га (16:16:16); 5. Аналоги (Osmocote, PlantonCote и Floranid) 200 кг/га. Повторность 4-х кратная. Размещение вариантов в повторениях рендомизированное. В течение вегетации отбирались образцы почвы для агрохимического анализа.

Таблица 10. Агрохимические данные почвы (0-40 см) перед/после внесения удобрений

Вариант опыта	рН водная	ЕС, мСм/см	Массовая доля ионов в водной вытяжке, мг-экв./100 г почвы		Гумус, %	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
			Cl ⁻	Na ⁺			
по Мачигину							

1	8,11	0,103	0,068	0,029	2,37/3,49	32,6/39,1	226/246
2	8,10	0,119	0,068	0,029	2,77/3.41	25,6/35,4	262/270
3	8,09	0,113	0,070	0,027	2,58/2.03	29,9/21,7	235/201
4	8,07	0,132	0,068	0,029	2,77/2.84	28,1/29,8	247/213
5	8,11	0,113	0,067	0,026	2,77/3.11	28,7/31,4	253/223

Агрохимические результаты (таблица 10), полученные в ходе текущего исследования (до внесения минеральных удобрений), свидетельствуют о том, что пять исследованных скважин обладают заметно гомогенными характеристиками почвенного слоя, что подтверждается схожими показателями по основным физико-химическим параметрам. Различия между скважинами присутствуют, однако они минимальны и, соответственно, можно предположить, что не оказали существенного влияния на основные функции почвы и на различные факторы между исследуемыми участками.

Применение аналогов (Tagrow, Osmocote, Nutritop и Nitamin) от мировых производителей ПМУ на производственных плодовых участках на южном карбонатном черноземе показывают значительные результаты по сравнению с применением традиционных удобрений с течением времени (4-х месяцев). В частности, по содержанию минеральных веществ в почве – на примере ЕС измерений, после внесения удобрений аналогов ПМУ и традиционное удобрение азофоска 16:16:16.

Данный анализ может служить основой для рекомендаций по выбору и применению удобрений для плодовых культур производственного сада косточковых и семечковых культур. Традиционные удобрения в большей степени увеличивают концентрацию макроэлементов в верхних слоях почвы по сравнению с контролем. Однако пролонгированные удобрения, разработанные нами ПМУ и зарубежные аналоги пролонгированного действия, обеспечивают стабильное и продолжительное питание растений, что может быть более предпочтительным для роста и развития плодовых культур.

В данном, 5-летнем эксперименте (2018-2022 гг.), была проведена сравнительная оценка применения различных систем минерального питания на урожайность яблони сорта Ренет Симиренко:

1. Контроль – без удобрений.
2. Традиционные формы минеральных удобрений (азофоска, моноаммонийфосфат, нитрат калия, аммиачная селитра).
3. Зарубежные аналоги (Tagrow, Osmocote, Nutritop и Nitamin).
4. Система 10% ПМУ (азофоска, моноаммонийфосфат, нитрат калия, аммиачная селитра).

Во всех пяти скважинах рН колеблется в пределах слабощелочных значений (8,07-8,38), что говорит о стабильности рН между участками. Изменение рН по глубине скважины свидетельствует о стабильности химического состава почвы. Применение традиционной системы питания имеет наибольшую удельную электропроводность на поверхностном слое (0,132 мСм/см). В целом, агрохимический анализ почвы после внесения различных форм минеральных удобрений показал, что химический состав

почвы при различных системах применения удобрений отличаются, хотя и не кардинально. Высокое содержание гумуса и макроэлементов в варианте с применением 10% полимер-модифицированных удобрений указывает на их потенциальную плодородность и пригодность для выращивания различных сельскохозяйственных культур.

Таблица 11. Агрохимические анализы почвы перед/после (5-и лет) внесения минеральных удобрений, яблоня Ренет Симиренко.

Элементы питания	Контроль	Трад	Tagrow	УПД
Гумус	4,4/4,3	4,5/4,7	4,4/4,9	4,4/5,2
Азот	59,3/35,1	50,5/35,5	59,8/54,8	53,2/71,4
Фосфор	32/20	31/27	33/47	31/55
Калий	105/69	90/78	91/115	97/139
pH (водная)	8,6/8,5	8,5/8,5	8,5/8,4	8,6/8,5

Деревья, полученные методом клонального микроразмножения на подвоях М9, были посажены 8 лет назад.

Столь впечатляющие параметры оптимизации азотного режима с применением удобрений пролонгированного действия (УПД) скорее были связаны не только с поступлением макроэлемента, но и с его дополнительной мобилизацией из почвенного органического вещества с переходом аммонийной формы (не доступная форма для растений) в нитрат аниона или катиона аммония (доступная форма для растений). В результате применения 200 кг/га УПД удалось повысить содержание подвижного азота в почве около 4 мг/кг в год в среднем. Уровень доступности фосфата в почве также увеличился в среднем около 5 мг/кг в год. Это может быть обусловлено высоким уровнем доступности подвижных фосфатов и доступности калия для растений на удобренных участках.

Таблица 12. Влияние удобрений на урожайность яблок сорта Ренет Симиренко.

	Контроль	Трад.	Tagrow	УПД
Деревьев на га	3333	3333	3333	3333
Яблок с дерева	37	44	49	48
Масса яблока (кг)	0,139	0,151	0,165	0,174
Урожай с дерева (кг)	5,143	6,644	8,085	8,352
Урожайность (т/га)	17,1	22,1	26,9	27,8
Δконтроль (т/га)	0,0	5,0	9,8	10,7

Урожайность яблок под действием УПД увеличилась на 5,7 т/га и 0,9 т/га по сравнению с традиционным внесением минеральных удобрений и аналога соответственно.

В седьмой главе показаны результаты применения ПМУ на ягодных культурах. Для земляники садовой нами предложена инновационная комплексная технология оздоровления посадочного материала с последующим его возделыванием на агрофоне формируемым УПД с различными сроками пролонгации. На рисунке 13 показано внесение 3 видов ПМУ с различными концентрациями материала. Важной рекомендацией является внесение удобрений на равном расстоянии между розетками при посадке. Глубина заделки «таблеток» рекомендуется 5-7 см.

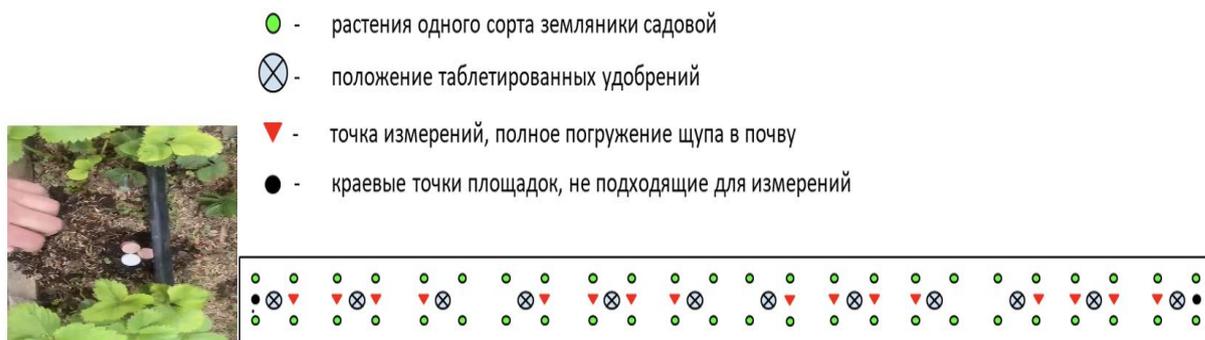


Рисунок 13. Простейшее внесение удобрений пролонгированного действия в тепличных условиях на ягодных культурах

На рисунке 13 приведены результаты опыта 2023 г. по влиянию оригинальных удобрений пролонгированного действия на урожайность земляники в условиях защищённого грунта. Использовались районированные в Чеченской Республике сорта земляники: Ирма, Профьюжен, Елизавета. Варианты опыта кроме контроля включали Стандарт (традиционное внесение Азофоски 16:16:16), Аналог (ПМУ Tagrow) и два варианта ПМУ 5 и 10% концентрации ПВС.

Особо отметим, что для всех трёх сортов наше оригинальное ПМУ показывает большую эффективность, чем использованный в опыте американский аналог – Tagrow.

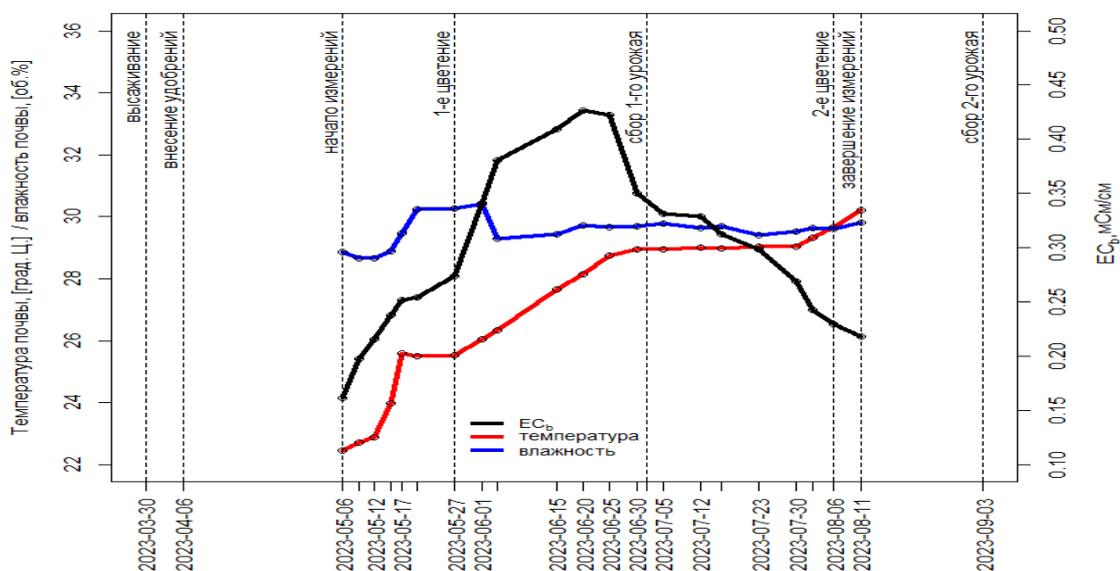


Рисунок 14. Основные события эксперимента (посадка, цветения, сборы урожая) и даты проведения всех измерений

Графики схематично отражают точки проведения измерений на общей картине изменений температуры, влажности и удельной электропроводности почвы в течение эксперимента (усредненно по всем вариантам опыта). Было проведено более 20000 измерений.

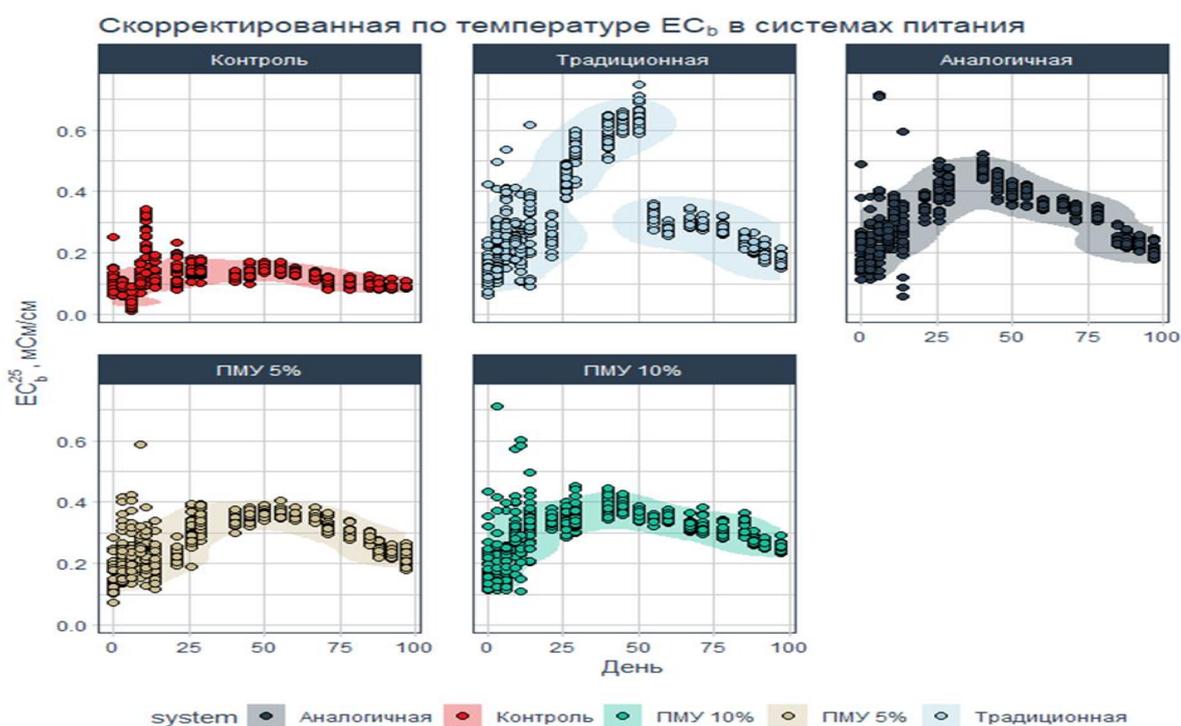


Рисунок 15. Временные серии скорректированной по температуре удельной электропроводности почвы в разных системах удобрения

Коридор показывает максимальную плотность и охватывает 90% экспериментальных данных. Исходная гипотеза состояла в эффективном влиянии замедленного высвобождения питательных веществ на урожай за счет меньших непроизводительных потерь и поддержания более высокой концентрации питательных элементов при формировании второго урожая. Таким образом, эта рабочая гипотеза может объяснить полученную значительную разницу в прибавке второго урожая от удобрений, т.е. разность в эффективности удобрений между традиционной и пролонгированными системами, особенно ярко выраженную для системы «ПМУ 10%», которая и рассчитана на 6 месяцев пролонгированного действия или потенциально 3 урожая ремонтантной земляники садовой.

Таблица 13. Результаты опыта 2023 г. по влиянию оригинальных удобрений пролонгированного действия на урожайность земляники садовой.

Сорта	Контроль 1 куст СР/гр	Традиционная Azofoska (16:16:16) 1 куст СР/гр	Аналог (Tagrow) 1 куст СР /гр	5% ПМУ 1 куст СР /гр	10% ПМУ 1 куст СР /гр
1-й сбор урожая					
Ирма	93	331	299	326	300
Елизавета 2	52	262	204	232	220
Профьюжен	101	323	310	320	314
2-й сбор урожая					
Ирма	58	113	204	239	251
Елизавета 2	45	89	176	90	200
Профьюжен	89	147	191	219	275
Итого					
Ирма	151	444	503	565	551

Елизавета 2	97	351	380	322	420
Профьюжен	190	470	501	539	589

Для оригинальных ПМУ эти процессы действуют медленнее, поддерживая агрофон на достаточном уровне на весь период вегетации. Поэтому на этапе второго сбора урожая во всех вариантах (для всех сортов) отмечается значимое повышение урожая удобрениями пролонгированного действия. Итоговые значения выхода урожая также подтверждают преимущество предлагаемых нами полимер-модифицированных форм минеральных удобрений.

В восьмой главе проиллюстрировано практическое использование ПМУ в условиях Северного Кавказа. Важнейшим вопросом для изучения механизма действия ПМУ, отличающих их от традиционных форм удобрений, является динамика доступных форм макроэлементов в течение вегетационного периода. Были выбраны следующие даты учётов: 15 июня, 15 августа и 25 октября. Исследования проводились на агрополигоне, примыкающем к южной окраине г. Грозный. Для выбора однородного участка и характеристики структуры почвенного покрова использовались данные 24 почвенных разрезов, расположенных в пределах агрополигона, опираясь на зоны многолетней неоднородности вегетационных индексов (рисунок 16).

Почвы в пределах агрополигона – агрочернозёмы миграционно-мицелярные отличаются большой мощностью (до 120-137 см), высокой плотностью (1,2-1,3 г/см³), наличием пахотного горизонта (мощностью до 28 см).

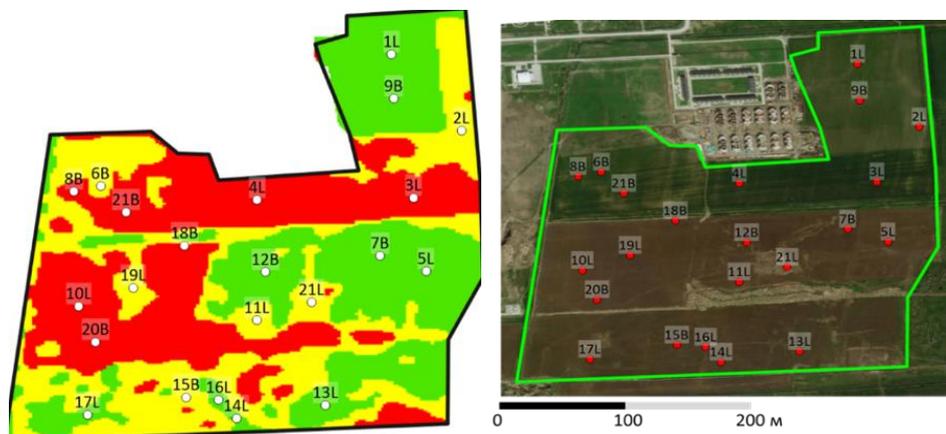


Рисунок 16. Схема расположения точек почвенного описания, справа – ортофотоплан местности, слева – зоны многолетней неоднородности вегетационных индексов

Целью работ было сравнение скорости разложения в однородном почвенном покрове равных доз удобрений, для учета непроизводительных потерь и снижения загрязнения окружающей среды, в пересчете на действующее вещество: биополимер модифицированных удобрений собственного производства, аналога, немодифицированных удобрений и контроля. Результаты агрохимических анализов приведены в таблице 14, а общие результаты приведены на рисунке 17.

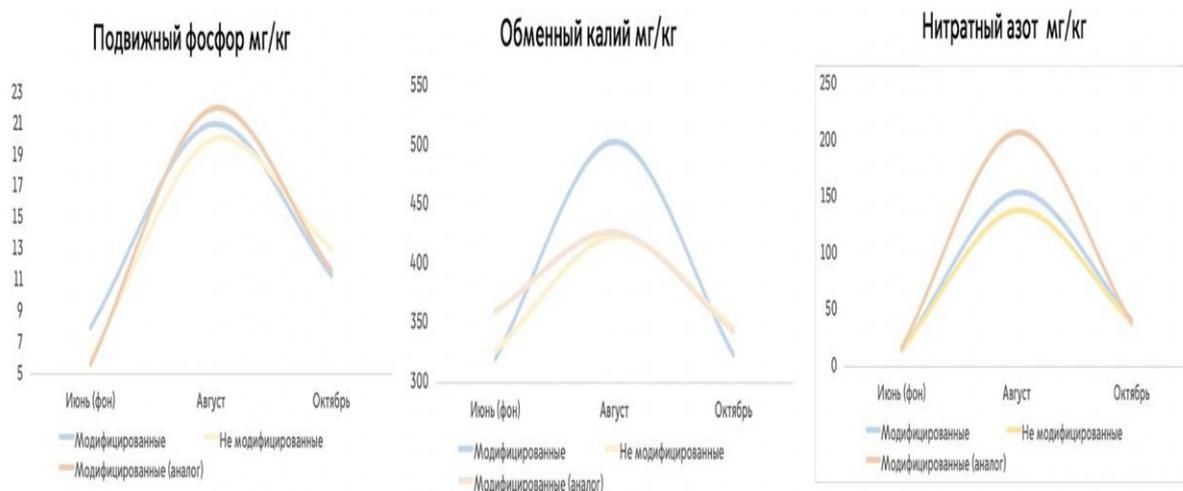


Рисунок 17. Динамика средневзвешенного содержания подвижного фосфора мг/кг, обменного калия мг/кг, нитратного азота мг/кг на опытных участках
Таблица 14. Агрохимические анализы пахотного горизонта почвы

	15 июня	15 августа	25 октября	15 июня	15 августа	25 октября	15 июня	15 августа	25 октября
№	Подвижный фосфор мг/кг			Обменный калий мг/кг			Нитратный азот мг/кг		
1	8	13	15	320	330	330	14	101	51
2	8	35	9	310	800	300	17	238	18
3	8	15	10	330	380	340	14	125	56
4	1	17	14	320	410	430	14	134	42
5	8	32	11	310	520	250	14	193	16
6	9	11	14	350	340	360	18	89	60
7	8	14	15	320	400	410	15	146	30
8	8	30	10	360	520	320	17	279	48
9	1	22	10	400	360	300	19	198	38

При изучении динамики содержания обменного калия выявляется явная достоверная тенденция, что при использовании модифицированного нитрата калия он медленнее поступает в почву и, следовательно, дольше сохраняется в ней. Содержание нитратного азота, вследствие более медленного высвобождения из модифицированных удобрений имело большую концентрацию в почве, чем в варианте с не модифицированными удобрениями, хотя наивысшая концентрация отмечена для зарубежного аналога модифицированных удобрений. В целом, учитывая не только необходимость отказа от зарубежных аналогов, но и преимущество перед традиционными предлагаемыми форм, можно рекомендовать последние для производственного внедрения и дальнейшего совершенствования.

В девятой главе показаны перспективы использования ПМУ на различных агрокультурах Северного Кавказа. Сконструированный нами, патентно-защищённый и постоянно совершенствуемый реактор V-star путём автоматизированной перенастройки технологических режимов способен производить продукцию с программируемым сроком пролонгации (реперно:

1, 3 и 6 месяцев). Возможность однократного внесения в почву смеси полимера и удобрений разного времени пролонгации в различных соотношениях открывает интереснейшие перспективы эффективного применения удобрений пролонгированного действия с «подстройкой» под календарь традиционных подкормок. Приуроченность к фенофазам достигается за счёт гидротермических условий, влияющих на скорость высвобождения действующего вещества биоразлагаемых форм ПМУ.

Противопоставление «углеводороды-vs-сельхозпродукция», в формате категорий «невозобновляемые-vs-возобновляемые ресурсы» не выдерживает критики хотя бы даже с учётом природы невозобновляемых ресурсов – минерального сырья для производства удобрений, не говоря уже о безусловной необходимости использования углеводов в технологическом цикле производства сельхозпродукции. Представление о «неисчерпаемости» ресурсов минерального сырья для удобрений (впрочем, как и для углеводов) следует считать не вполне корректным, подменяющим развитие прогрессивных систем применения удобрений экстенсивными традиционными методиками. Действительно, разовое внесение значительных доз удобрений при посеве – технологически привлекательнее, но ведь внесённую дозу удобрения только прорастающее растение просто физиологически не может освоить, и неизбежны непроизводительные потери действующего вещества минеральных удобрений.

Идеальной схемой с точки зрения как рационального использования минеральных удобрений, так и питания растений, является грамотная система подкормок в течение вегетационного периода в привязке к фенофазам. Однако при этом возрастают экономические издержки и технологические нагрузки.

Этих недостатков лишены удобрения пролонгированного действия. Постепенное высвобождение действующего вещества минерального питания резко сокращает непроизводительные потери и, как следствие, загрязнение окружающей среды, а также отсутствуют затраты на организацию подкормок. В природопользовании это достаточно редкая ситуация, когда экономические и экологические приоритеты совпадают.

Выводы

1. Проанализированный мировой опыт применения удобрений пролонгированного действия (биологические механизмы, формы удобрений, их влияние на продуктивность, технологии производства, инновационные перспективы) показывает актуальность данного направления, а наработанный нами технологический задел позволяет гарантировать не только импортозамещение в этом инновационном направлении, но и подойти к фундаментальному уточнению роли УПД в таком важнейшем вопросе, как использование резервов почвенного плодородия, что особенно важно на современном этапе беспрецедентных вызовов.

2. Применение традиционных форм и систем удобрений не позволяет использовать весь потенциал вносимых элементов питания, так как процессы неполной денитрификации, иммобилизация, выщелачивание (вымывание) основных макроэлементов (NPK), наряду с действием уреазы, приводят к непроизводительным потерям до 30% питательных веществ. Кроме экономических потерь имеют место негативные экологические последствия – эвтрофикация водоёмов, эмиссия парниковых газов. Применение удобрений пролонгированного действия, при исключении затрат на подкормки, характеризует достаточно редкий случай, когда экономические и экологические приоритеты совпадают.

3. На основе изучения биохимических механизмов формирования плодородия почвы впервые разработаны технологические основы производства оригинальных полимер-модифицированных минеральных удобрений. Конструкция оригинального реактора V-star защищена Патентом РФ (RU 2667453 C1, Заявка № 2017126789, 2018 г.). Улучшенная новая оригинальная конструкция находится в стадии патентного рассмотрения (Заявка №2023/109134/10/10/019683).

4. Сконструированный нами, патентно-защищённый и постоянно совершенствуемый реактор V-star для производства полимер-модифицированных минеральных удобрений пролонгированного действия путём автоматизированной перенастройки технологических режимов способен производить продукцию с программируемым сроком пролонгации (реперно: 1, 3 и 6 месяцев). Технологическая перенастройка реактора для получения требуемых градаций свойств полимер модифицированных удобрений производится с помощью компьютера с разработанным нами оригинальным программным обеспечением. Программное обеспечение защищено Свидетельством Российского фонда алгоритмов и программ для ЭВМ (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021666912, 21.10.2021. Заявка № 2021665802).

5. Возможность однократного внесения в почву смеси полимера и удобрений разного времени пролонгации в различных соотношениях открывает перспективы эффективного применения удобрений пролонгированного действия с «подстройкой» под календарь традиционных подкормок, приуроченных к фенофазам, учитывая связанную гидро-термическую детерминацию действия ПМУ и развития растений, что особенно важно при возможном дефиците ресурсов в современных условиях беспрецедентных вызовов.

6. Разработанные нами лабораторные (с подробным описанием, предполагающим соблюдение принципа воспроизводимости эксперимента в любой лаборатории) и оригинальные производственные методы получения полимер-модифицированных минеральных удобрений на основе: Азофоска, Моноаммонийфосфат, Нитрат Калия, Нитрат Магния и Аммиачная селитра, позволяют получать полимер модифицированные удобрения, не уступающие

по эффективности зарубежным аналогам, среди которых, в первую очередь, оценивались Tagrow, Osmocote, Nutritop и Nitamin).

7. При закладке точного полевого опыта на опытных полях Чеченского НИИСХ впервые успешно была применена инновационная методика выделения опытных делянок с многокритериальным нивелированием различий, в особенности по освещённости и микрорельефу, что особенно важно для агрорегионов Северного Кавказа.

8. Разработаны научные основы применения ПМУ на зерновых (озимая пшеница) в различных агрорегионах Северного Кавказа (Чеченская Республика, Карачаево-Черкесская Республика, Ставропольский край). Лучшие результаты по урожайности дали варианты с максимальным содержанием д.в. в ПМУ + максимальным программированием сроков пролонгации (20% д.в. + 6 мес. программируемого срока пролонгации).

9. Применение ПМУ на зерновых обеспечивает лучшие по сравнению с традиционными формами удобрений показатели качества продукции, в первую очередь по клейковине и белку.

10. Разработаны научные основы применения полимер-модифицированных удобрений на садовых многолетниках (семечковые, косточковые). Приближением к решению проблемы «сложности описания зависимости выхода урожая от агрофона для многолетников» является статистически значимая прибавка урожая при применении ПМУ, достигаемая, по-видимому, хотя бы вследствие безусловно меньшего вымывания непосредственно доступных для растений форм биофильных макроэлементов.

11. Разработанные на примере земляники садовой научные основы возделывания культуры предполагают комплексную технологию производства оздоровленного посадочного материала с последующей вегетацией на модифицированном агрофоне с применением удобрений пролонгированного действия.

12. Внесение удобрений на ягодах – ремонтантные сорта земляники садовой, в тепличных условиях позволяет получить более высокий урожай уже со второго этапа плодоношения, что в итоге на 20% больше, чем на традиционной системе питания и при применении зарубежного аналога (Tagrow).

13. Теоретически обоснованы подходы, предполагающие компенсаторную функцию технологически программируемых сроков действия ПМУ при учёте крайне актуальных в настоящее время климатических рисков. В частности, обозначена роль УПД при использовании «травосмесей» для восстановления нарушенных природных ландшафтов на примере Российской Арктики. (Соответствующие материалы приняты к формированию 4-го тома Национального доклада «Глобальный климат и почвенный покров России», 2023).

Рекомендации производству

1. Использовать Методические рекомендации «Инновационные технологии оздоровления и клонального микроразмножения посадочного материала земляники садовой в культуре *in vitro* с последующим культивированием на агрофоне ПМУ пролонгированного действия».

2. В дополнение к изложенным в Методических рекомендациях технологических основ получения ПМУ для многолетников для получения более высокого и качественного урожая косточковых и семечковых культур, в частности поздних сортов яблони, груши и сливы, рекомендуется использовать 10% полимер модифицированные минеральные удобрения с 3-х-месячным сроком пролонгации, с внесением в период фенофазы – набухание плодовых почек после проведения регистрационных испытаний.

3. Внедрять на основе собственного производства технологические основы производства предлагаемых оригинальных ПМУ. Конструкция оригинального реактора V-star защищена Патентом РФ (RU 2667453 С1, Заявка № 2017126789, 2018 г.). Улучшенная новая оригинальная конструкция находится в стадии патентного рассмотрения (Заявка №2023/109134/10/10/019683).

4. Рекомендуется (при аппаратной реализации) использовать предложенную нами методику технологического программирования времени пролонгации действия биоразлагаемых ПМУ. Технологическая перенастройка реактора для получения требуемых градаций свойств полимер модифицированных удобрений производится с помощью компьютера (микропроцессора). Программное обеспечение защищено Свидетельством Российского фонда алгоритмов и программ для ЭВМ (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021666912, 21.10.2021. Заявка № 2021665802). Применение новых пролонгированных удобрений является эффективным методом для снижения количества удобрения на планируемый урожай, одновременно выводя почвы на более высокий уровень плодородия.

Список опубликованных работ по теме диссертации

Публикации в изданиях, индексируемых в базе Scopus, WoS

1. **Vamatov, I. M.** The usage of Slow Released Fertilizer over bio-organic natural fertilizers on fruit stone rootstock /**Vamatov, I. M., D. M. Vamatov, M. M. Arsanov**// IOP Publishing Ltd. Vol. Volume 677. – Krasnoyarsk, Russian Federation: 2021. – P. 42027. – DOI 10.1088/1755-1315/677/4/042027.

2. **Vamatov, I. M.** The obtainment process of biopolymer coated npk fertilizer and its comparison with analog on berry plants /**Vamatov, I. M., M. M. Arsanov, K. K. Sapaev.** // Key Engineering Materials. – 2021. – Vol. 899 KEM. – P. 361-367. – DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.899.361.

3. **Vamatov, I. M** The influence of biodegradable polymer coated fertilizers on the agrochemical parameters of the soil./**Vamatov, I. M., D. M. Vamatov.** //

Institute of Physics and IOP Publishing Limited. Vol. 548. – Volgograd, Krasnoyarsk: 2020. – P. 82069. – DOI 10.1088/1755-1315/548/8/082069.

4. **Bamatov, I. M.** The influence of biopolymer coated fertilizer on the agrochemical parameters of the soil/**Bamatov, I. M.**, M. M. Arsanov, E. V. Rummyantsev. // Key Engineering Materials. – 2020. – Vol. 869 KEM. – P. 315-320. – DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.869.315.

5. **Bamatov, I. M.** Influence of biopolymeric modification of mineral fertilizers on the productivity and quality of winter wheat grain / **Bamatov, I. M.**, E. V. Rummyantsev, A. Kh. Zanirov // Institute of Physics and IOP Publishing Limited .Vol. 421. – Krasnoyarsk, Russia: 2020. – P. 32023. – DOI 10.1088/1755-1315/421/3/032023.

6. **Bamatov, I. M.** The change of coating process of NPK fertilizer with a biopolymer by using a continuous flow reactor/ **Bamatov, I. M.**, E. V. Rummyantsev, D. M. Bamatov. // Institute of Physics and IOP Publishing Limited. Vol. 1399. – Krasnoyarsk: 2019. – P. 44029. – DOI 10.1088/1742-6596/1399/4/044029.

7. **Bamatov, I. M.** The modification of temperature control at each stage of V-star continuous flow reactor / **Bamatov, I. M.**, E. V. Rummyantsev, D. M. Bamatov// Institute of Physics and IOP Publishing Limited. Vol. 1399. – Krasnoyarsk: 2019. – P. 44059. – DOI 10.1088/1742-6596/1399/4/044059.

8. **Bamatov, I. M.** Development of the chemical reactor V-star for continuous flow reactions / **Bamatov, I. M.**, E. V. Rummyantsev, D. M. Bamatov // Institute of Physics and IOP Publishing Limited. Vol. 537. – Krasnoyarsk: 2019. – P. 32020. – DOI 10.1088/1757-899X/537/3/032020.

9. **Bamatov, I. M.** Coating of powder particles by a continuous method of reaction by using V-star chemical reactor / **Bamatov, I. M.**, E. V. Rummyantsev, D. M. Bamatov // Institute of Physics and IOP Publishing Limited. Vol. 537. – Krasnoyarsk: 2019. – P. 62010. – DOI 10.1088/1757-899X/537/6/062010.

10. **Bamatov I. M.** Coating of NPK fertiliser with starch-based biodegradable polymer by using a v-star reactor / **Bamatov I. M.**, K., K. Sapaev, E. V. Rummyantsev. // Key Engineering Materials. – 2019. – Vol. 816 KEM. – P. 318-322. – DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.816.318.

11. **Bamatov, I. M.** The influence of biopolymer modification of mineral fertilizers on main agrochemical parameters of soil./ **Bamatov, I. M.**, E. V. Rummyantsev, A. Kh. Zanirov// Institute of Physics and IOP Publishing Limited. Vol. 315. – Krasnoyarsk: 2019. – P. 52059. – DOI 10.1088/1755-1315/315/5/052059.

12. **Bamatov, I. M.** Coating of Sodium Aluminosilicate with Sodium Sulphate and Sodium Carbonate in V-Star Reactor/ **Bamatov, I. M.**, D. M. Bamatov. // Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" (ISEES 2018): International Symposium on Engineering and Earth Sciences, Grozny, 11–16 November 2018. – Grozny: Atlantis Press, 2018. – P. 146-151.

13. **Bamatov I. M.** The system of production of healthy planting material for potato under the conditions of the Chechen Republic / **Bamatov I. M.**, A. A. Batukaev, E. A. Khadzhimuradova. // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2018. – Vol. 10, No. 1. – P. 106-109.

14. **Bamatov I. M.** Influence of Bio-Organic Modification of Nutrient Solution on Mineral and Carbon Nutrition of Plants of Tomato in Greenhouses / **Bamatov I. M.**, N. L. Adaev, A. N. Adaev, [et al.] // International scientific and practical conference "Agro-SMART - Smart solutions for agriculture" (Agro-SMART 2018), Tyumen, 16–20 July 2018. Vol. 151. – Tyumen: Atlantis Press, 2018. – P. 875-879.

15. **Bamatov, I. M.** Engineering methods and technologies of remote sensing in an economic entity for the transition to a highly productive agricultural sector./ **Bamatov, I. M.**, I. L. Daudov. // Institute of Physics and IOP Publishing Limited. Vol. 919. – Krasnoyarsk, Russia: 2020. – P. 32031. – DOI 10.1088/1757-899X/919/3/032031.

16. **Bamatov, I. M.** New technologies to succeed the rooting process of rootstocks in agriculture engineering in Vitro./ **Bamatov, I. M.**, Z. V. Kimaev, D. M. Bamatov. // Institute of Physics and IOP Publishing Limited. Vol. 919. – Krasnoyarsk, Russia: 2020. – P. 32026. – DOI 10.1088/1757-899X/919/3/032026.

17. **Bamatov, I. M.** The effect of various substrates of the nutrient medium on the rooting of VSL-2 rootstocks in Vitro./ **Bamatov, I. M.**, Rn. S. K. Edelgeriev. // IOP Publishing Limited, Vol. 421. – Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and 2020. – P. 32061. – DOI 10.1088/1755-1315/421/3/032061.

18. **Bamatov, I. M.** Economic evaluation of proceedings a virus - free planting material in vitro. / **Bamatov, I. M.**, D. M. Bamatov. // Institute of Physics and IOP Publishing Limited. Vol. 548. – Volgograd, Krasnoyarsk: 2020. – P. 22052. – DOI 10.1088/1755-1315/548/2/022052.

19. **Bamatov, I. M.** Organization of a nursery of maternal plants in the Chechen Republic and soil requirements./ **Bamatov, I. M.**, Z. V. Kimaev, D. M. Bamatov. // Institute of Physics and IOP Publishing Limited. Vol. 548. – Volgograd, Krasnoyarsk: 2020. – P. 22064. – DOI 10.1088/1755-1315/548/2/022064.

20. **Bamatov, I. M.**, The obtainment process and the comparative analysis of the usage of biomodified fertilizer over monoammonium phosphate on fruit garden / **Bamatov, I. M.**, M. M. Arsanov, M. A. Takaeva. // AIP Conference Proceedings: 2, Krasnoyarsk, 29–31 July 2021. – Krasnoyarsk, 2022. – P. 020060. – DOI 10.1063/5.0092510.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. **Баматов И. М.** Использование полимеров в организации новых систем питания растений // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2023. – № 4. – С. 10-14. – DOI 10.31857/2500-2082/2023/4/10-14.

2. **Баматов И. М.** Влияние полимерной модификации комплексного удобрения на эффективность использования фосфора и калия озимой пшеницей на южном черноземе / **Баматов И. М.**, Н. А. Васильева, А. А.

Владимиров [и др.] // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2022. – № 113. – С. 90-109. – DOI 10.19047/0136-1694-2022-113-90-109.

3. **Баматов И. М.**, Влияние биополимерной модификации минеральных удобрений на продуктивность зерна озимой пшеницы и основные элементы плодородия почвы / **Баматов И. М.**, К. А. Перевертин, Ш. М. Абасов, С. М. Хамурзаев. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2022. – № 6. – С. 39-43. – DOI 10.31857/2500-2082/2022/6/39-43.

4. **Баматов И. М.** Глобальный климат и почвенный покров - последствия для землепользования России / **Баматов И. М.**, А. Л. Иванов, И. Ю. Савин, В. С. Столбовой, Ю. А. Духанин, Д. Н. Козлов, // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2021. – № 107. – С. 5-32. – DOI 10.19047/0136-1694-2021-107-5-32.

5. **Баматов И. М.** Моделирование химических реакторов. Конфигурация элементов многостадийного химического реактора непрерывного действия для перемешивания жидкостей / **Баматов И. М.**, Д. М. Баматов, Х. Х. Сапаев // Наноиндустрия. – 2023. – Т. 16, № 2(120). – С. 144-151. – DOI 10.22184/1993-8578.2023.16.2.144.151.

Патенты

1. **Баматов И. М.** Патент № 2667453 С1 Российская Федерация, МПК В01F 3/08. Реактор для непрерывного перемешивания жидких растворов: № 2017126789: заявл. 25.07.2017: опубл. 19.09.2018. Заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чеченский государственный университет».

2. **Баматов И. М.**, Д. М. Баматов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021666912 Российская Федерация. Программное обеспечение системы управления температурными режимами многостадийного реактора для непрерывного смешивания жидкостей: № 2021665802: заявл. 12.10.2021: опубл. 21.10.2021. Заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Инновационная Инженерия».

3. **Баматов И. М.**, Н. Л. Адаев, А. Г. Амаева. Патент № 2747781 С1 Российская Федерация, МПК А01Н 1/00. Универсальная модифицированная питательная среда М-S для клонирования микрорастений земляники сорта Ирма, Елизавета в условиях *in vitro*: № 2020123350: заявл. 08.07.2020: опубл. 14.05.2021. Заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чеченский государственный университет».

4. **Баматов И. М.**, Д. М. Баматов, Д. М. Баматов. Патент № 2748968 С1 Российская Федерация, МПК А01G 31/00. Оптимизированная питательная среда для подвойного материала ВСВ-1, ВСЛ-1 и ВСЛ-2 в условиях *in vitro*: № 2020124505: заявл. 14.07.2020: опубл. 02.06.2021. Заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чеченский государственный университет».

5. **Баматов И. М.**, Д. М. Баматов, М. М. Арсанов. Патент № 2749614 С1 Российская Федерация, МПК А01Н 4/00. Способ мультипликации подвойного материала Л-2 в условиях *in vitro* : № 2020121705 : заявл. 25.06.2020 : опубл. 16.06.2021. Заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чеченский государственный университет».

6. **Баматов И. М.**, А. А. Батукаев, А. Н. Шаипов, Р. С.-Х. Эдельгериев, Патент № 2732230 С1 Российская Федерация, МПК А01Н 1/00. Способ получения укорененного подвойного материала ВСЛ-2 *in vitro*: № 2019137445: заявл. 20.11.2019: опубл. 14.09.2020. Заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чеченский государственный университет».

Методические указания, учебные пособия

1. **Баматов, И. М.** Инновационные технологии оздоровления и клонального микроразмножения посадочного материала земляники садовой в культуре *in vitro* с последующим культивированием на агрофоне полимер-модифицированных минеральных удобрений пролонгированного действия / Н. А. Васильева, В.Н. Сорокопудов, Н. Л-А. Адаев, и др., Методические рекомендации. – Грозный: Издательство АО «ИПК «Грозненский рабочий», 2023. – 112 с.

АННОТАЦИЯ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ НА ПРИМЕРЕ РАЗЛИЧНЫХ АГРОКУЛЬТУР СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

В современных условиях беспрецедентных вызовов продовольствие и неразрывно связанные с ним минеральные удобрения становятся важнейшим активом мирового рынка, переводя статус агрохимической отрасли в ранг стратегически важнейшей, заметно «потеснив» на этом месте ранее безусловных доминантов сырьевой экономики РФ – отрасли, связанные с углеводородами. Угроза голода в первую очередь для развивающихся стран увязывалась, в первую очередь, с прогрессивным учащением засух вплоть до аридизации части сельхозугодий. Эти процессы имеют объективный характер, хотя и антропогенный фактор существенен. Для Северного Кавказа (как и для других горных систем планеты) неоспоримым наглядным доказательством глобального потепления является необратимое таяние горных ледников.

Доминирующая в настоящее время практика применения традиционных форм и систем удобрений не позволяет использовать весь потенциал вносимых элементов питания, непроизводительные потери

макроэлементов могут достигать 30%. Кроме экономических потерь имеют место негативные экологические последствия, как для почв, так и для окружающей среды – эвтрофикация водоёмов, эмиссия парниковых газов. Предлагаемое нами в данной работе применение удобрений пролонгированного действия, характеризует достаточно редкий случай в природопользовании, когда экономические и экологические приоритеты совпадают.

ABSTRACT

THEORETICAL AND PRACTICAL BASIS FOR THE USE OF SLOW-RELEASE MINERAL FERTILIZERS USING THE EXAMPLE OF VARIOUS AGRICULTURAL CROPS IN THE NORTH CAUCASUS

In modern conditions of unprecedented challenges, food and inextricably linked mineral fertilizers are becoming the most important asset of the world market, transferring the status of the agrochemical industry to the rank of strategically important, noticeably “squeezing out” in this place the previously undisputed dominants of the raw material economy of the Russian Federation - hydrocarbon-related industries. The threat of famine, primarily for developing countries, was linked, first of all, to the progressive increase in droughts up to the aridization of part of the farmland. These processes are objective in nature, although the anthropogenic factor also exists. For the North Caucasus (as well as for other mountain systems of the planet), irreversible melting of mountain glaciers is indisputable visual evidence of global warming.

The currently dominant practice of using traditional forms and systems of fertilizers does not allow using the full potential of the applied nutrients, and unproductive losses of macro-elements can reach 30%. In addition to economic losses, there are negative environmental consequences, both for soils and the environment - eutrophication of water bodies, emissions of greenhouse gases. The use of slow-release fertilizers that we propose in this work characterizes a rather rare case in environmental management when economic and environmental priorities coincide.