

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М.В.ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи



Королев Петр Сергеевич

**Влияние новых форм удобрений на рост и развитие
газонных трав в г. Москва**

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2025

Диссертация подготовлена на кафедре агрохимии и биохимии растений факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова

Научный руководитель – *Пашкевич Елена Борисовна, доктор биологических наук*

Официальные оппоненты – *Семенов Вячеслав Михайлович, доктор биологических наук, доцент, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН», Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, лаборатория почвенных циклов азота и углерода, главный научный сотрудник*

Иванов Алексей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, чл.-корр. РАН, ФГБНУ "Агрофизический научно-исследовательский институт", отдел физико-химической мелиорации и опытного дела, главный научный сотрудник

Горбов Сергей Николаевич, доктор биологических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Иванковского, кафедра ботаники, профессор

Защита диссертации состоится «04» марта 2025 г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета МГУ.015.2 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119234, г. Москва, ул. Ленинские горы, д. 1, стр. 12, биологический факультет, ауд. М-1.

E-mail: nvkostina@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/3325>

Автореферат разослан «30» января 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук



Н.В. Костина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Городские газоны занимают особое положение в социальной жизни общества. Увеличение численности населения в XX-XXI вв. привело к росту площади городов и темпов урбанизации. Следствием данных процессов стало снижение качества и комфортности городской среды для проживания населения и возможности достижения одной из приоритетных целей современного общества – устойчивого развития урбанизированных территорий. Обеспеченность территорий зелеными насаждениями - один из факторов, которые определяют качество жизни людей в условиях города (Ignatieva et al., 2020). Именно газонные злаки обладают преимуществом перед другими типами растительности, так как они довольно устойчивы к негативным факторам окружающей среды. Спрос на создание газонных покрытий постоянно увеличивается, что обосновывает необходимость разработки для них современного агрохимического сопровождения как при создании, так и при эксплуатации уже имеющихся газонов.

Улучшение декоративных характеристик и устойчивости газонов невозможно без применения минеральных удобрений (Martinez et al., 2014). Основным мероприятием, проводимым на высококачественном газоне, является регулярная стрижка, что приводит к значительному отчуждению питательных элементов из корнеобитаемого слоя. В регионах с промывным режимом почв дополнительные потери элементов питания, в основном азота, происходят с внутрипочвенным стоком. Одноразовое внесение высоких доз минеральных удобрений в зонах с промывным режимом экологически небезопасно, так как вымываемые компоненты удобрений могут попадать в водные объекты. В этой связи, для каждой почвенно-климатической зоны необходимо разрабатывать индивидуальный регламент внесения удобрений для подкормки газонных трав.

Степень разработанности проблемы. Необходимость применения комплексных удобрений и уход за газонными покрытиями достаточно хорошо исследованы в работах зарубежных ученых (Côté, Grégoire, 2021; Landschoot, 2003), однако, в России обеспечение газонов питательными элементами, особенно азотом, в городских условиях практически не изучено (Волкова, Соболев, 2015). Оптимизация минерального питания городских газонов применением удобрений в городских условиях требует проработки и детализации.

Цель и задачи. Цель исследования - изучить влияние внесения разных доз и форм комплексных минеральных удобрений и новых удобрений пролонгированного действия на биопродуктивность, декоративные свойства и минеральное питание создаваемых (новых) и находящихся в длительной эксплуатации (старых) газонов в условиях города Москва.

В задачи исследования входило:

1. Оценить действие различных форм и способов внесения удобрений на показатели биомассы, проективного покрытия и количество фотосинтетических пигментов в газонных травах.
2. Изучить влияние форм, доз и способов внесения минеральных удобрений на минеральное питание газонных трав газонов разного срока эксплуатации.
3. Изучить изменения свойств почвы и почвогрунтов при использовании минеральных удобрений под газонные травы.
4. Выявить наиболее эффективные формы удобрений для подкормки газонных трав как вновь формируемых, так и находящихся в длительной эксплуатации газонов.

Научная новизна. Впервые проведено изучение влияния инновационных комплексных удобрений и удобрений пролонгированного действия, разработанных для озеленения в городских условиях.

Впервые получены данные по применению новых комплексных удобрений и удобрений пролонгированного действия, как на городских почвах, так и на почвогрунтах, используемых при создании новых газонов.

Разработан алгоритм применения доз, форм и способов внесения новых инновационных видов удобрений под газонные травы для оптимального обеспечения элементами минерального питания как новых, так и находящихся в длительной эксплуатации газонов.

Теоретическая и практическая значимость. Внесен существенный теоретический вклад в понимание действия удобрений, вносимых в почву или почвогрунт, на повышение декоративных свойств газонов в городских условиях. На данный момент не разработано никаких нормативных документов, которые регламентируют применение минеральных удобрений на городских газонах в течение всего вегетационного периода для повышения декоративных свойств и увеличения их устойчивости к неблагоприятным условиям среды. Изучены и разработаны научно-обоснованные рекомендации по применению форм, доз и способов применения удобрений на газонах позволит уменьшить антропогенную и экологическую нагрузку на окружающую среду и повысить декоративные свойства газонных трав.

Объект исследования. Объектами исследования являлись городские газоны с разными сроками эксплуатации, расположенные на территории МГУ имени М.В. Ломоносова

Методология и методы исследования. Методология исследования основывается на результатах, полученных в течение трех лет на двух мелкоделяночных полевых опытах, заложенных на территории МГУ имени М.В. Ломоносова в период 2020-2022 гг., лабораторных методах исследования по общепринятым методикам. Полученные результаты подвергались статистической обработке.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Применение капсулированной мочевины пролонгированного действия как отдельно, так и совместно с гранулированной мочевиной – самое эффективное азотное удобрение при закладке газонов на почвогрунтах в городских условиях.
2. Дробное ежемесячное внесение самого распространенного комплексного удобрения нитроаммофоска является оптимальным для агрохимического сопровождения уже созданных газонов на урбаноземах г. Москвы.
3. Основные показатели качества газонных трав (проективное покрытие, биомасса, содержание хлорофилла) регулируются дозой и формой вносимого удобрения.

Степень достоверности и апробация результатов. Степень достоверности результатов обеспечивается проведёнными на протяжении 3-х лет мелкоделяночными опытами с использованием общепринятых методик. Все лабораторные и аналитические исследования проводили в трехкратной повторности на современном оборудовании. Анализ и обобщение данных проводили с использованием современных методов статистической обработки экспериментальных данных.

Результаты исследований были представлены к обсуждению на Всероссийских и Международных научных и научно-практических конференциях: Международная научно-практическая конференция «Плодородие почв и эффективное применение удобрений», Минск 22-25 июня 2021 г., Всероссийская научная конференция,

посвященная 90-летию выдающегося деятеля науки, классика отечественной школы агрохимии, академика РАН В.Г. Минеева, 7-8 сентября 2021 г. Москва., Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2021» (Москва 12-23.04.21), Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2022 (Москва, 11-22.04.2022), XXXV международная научно-практическая конференция Eurasiascience, (Москва, 2021).

Личный вклад автора. Вклад автора состоял в организации и проведении всех исследований, предполагаемых программой работы. Автор непосредственно участвовал в закладке, стрижке газонных трав, отборе образцов на всех мелкоделяночных опытах и аналитических исследованиях, проанализировал и интерпретировал полученные экспериментальные данные, выполнил их статическую обработку, подготовил текст и иллюстрации для публикации.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 4 печатные работы: из них 4 статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, индексируемых международными базами данных (Web of Science и Scopus), рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ имени М.В. Ломоносова. В работах, опубликованных в соавторстве, основополагающий вклад принадлежит соискателю.

Объем и структура работы. Работа состоит из введения, трех глав, заключения, выводов, списка литературы и приложений, изложенных на 131 странице. Диссертационная работа содержит 4 таблицы, 35 рисунков и списка литературы из 146 наименований, из которых 91 на английском языке.

Благодарности. Автор выражает признательность научному руководителю, д.б.н., с.н.с. Пашкевич Е.Б., к.б.н. Большевой Т.Н. за ценные консультации

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. История возникновения газонов, современные представления о системе удобрения газонов. Обзор литературы

В настоящее время газонные покрытия являются неотъемлемой частью городских зеленых насаждений. Городские газоны обеспечивают доступную и комфортную поверхность для отдыха. В условиях города газоны подвержены стрессу антропогенного и техногенного характера (Воскресенская, 2020). Улучшение минерального питания позволяет снизить негативную нагрузку, вызванную неблагоприятными факторами окружающей среды. В работах отечественных и зарубежных исследователей отмечается, что только при ежегодном применении удобрений можно поддерживать городские газоны в надлежащем состоянии и только при соблюдении всех агрохимических и агротехнических приемов они могут выполнять свои экологические и эстетические функции. Подбор видов растений для газонных смесей так же является актуальным, поскольку некоторые виды не способны выдерживать вытаптывание, переуплотнение почвы и высокие концентрации почвенного раствора, связанные с применением противогололедных реагентов. При создании и поддержании городских газонов хорошего декоративного качества требуется регулярное, дробное применение азотных удобрений, что может представлять трудоемкий процесс.

В условиях г. Москвы разработка приемов, способов и сроков внесения минеральных удобрений для поддержания газонных покрытий играет важную роль

для предотвращения их деградации, тем самым снижая экономические затраты при необходимости их замены. В официальных нормативно-правовых актах по проведению мероприятий по озеленению города нет рекомендаций по регулярному удобрению газонов (ПП 743, 2002).

Глава 2. Объекты и методы исследований

Для изучения влияния комплексных удобрений и азотных капсулированных удобрений пролонгированного действия на городские газоны в 2020 г. на территории МГУ имени Ломоносова были заложены два микрополевых опыта. Исследования проводили в течении 3-х лет с 2020 по 2022 гг.

ОПЫТ 1. Сравнительная эффективность применения капсулированной мочевины и дробного внесения азотных удобрений при создании и эксплуатации газонного покрытия на искусственных почвогрунтах. Мелкоделяночный опыт по изучению эффективности дробного внесения стандартных и комплексных удобрений с однократным внесением капсулированной мочевины пролонгированного действия на рост, содержание в растениях NPK и декоративные свойства газонных трав был заложен 11.09.2020 г. на территории почвенного стационара факультета Почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова на заводском почвогрунте со следующими агрохимическими характеристиками: рН_{KCl} - 6,6, подвижный фосфор, мг/кг - 124,0, подвижный калий, мг/кг - 212,0, содержание органического вещества, % - 18,8, содержание меди, мг/кг - 8,8, содержание цинка, мг/кг - 30,4.

В опыте использовали:

1. Капсулированную мочевину фирмы АО «ОХК «УРАЛХИМ», (вес оболочки составляет до 6 %, содержание N - 46,0%);
2. Гранулированную мочевину фирмы АО «ОХК «УРАЛХИМ» (N - 46,0%);
3. Азофоску фирмы АО «ОХК «УРАЛХИМ» (14 % N-NH₄⁺, 12,1 % N-NO₃⁻, 5,5 % P₂O₅, 5,5 % K₂O, 2 % S);
4. Универсал 18:18:18 фирмы АО «ОХК «УРАЛХИМ» (9,0 % N-NH₂⁻, 3,6 % N-NH₄⁺, 5,4 % N-NO₃⁻, 18,0 % P₂O₅, 18,0 % K₂O, 2% MgO, 0,02 % B, 0,01 % Cu, 0,1 % Fe, 0,05 % Mn, 0,01 % Mo, 0,01 % Zn, все микроэлементы в хелатной форме);
5. Гранулированную мочевину фирмы «Фаско» с содержанием N - 46,0%;
6. Сульфат калия фирмы ОАО «Буйские удобрения» (50 % K₂O, 17 % S);
7. Двойной суперфосфат фирма АО «Фертика» (29 % P₂O₅).

Внесение удобрений в 2020 г. проводили до посева трав в соответствии со схемой опыта (табл. 1). Фосфорные, калийные удобрения, гранулированную мочевину, смесь гранулированной мочевины и капсулированную мочевину и капсулированную мочевину заделывали в почву граблями на глубину 0-5 см. Остальные удобрения (гранулированную мочевину, азофоску и Универсал) вносили на поверхность почвы в виде раствора. Делянки, где вносили сухие гранулированные и капсулированные удобрения поливали водой в том же количестве, которое использовали для растворения удобрений.

В 2021-2022 гг. после окончания снеготаянья фосфорные и калийные удобрения, а также капсулированную мочевину и гранулированную мочевину с капсулированной мочевиной вносили весной согласно схеме опыта (табл. 1). Остальные удобрения - дробно. Растворы удобрений вносили в начале каждого месяца после стрижки газона и отбора образцов почвогрунта. Удобрения Универсал, азофоску и мочевину вносили дробно в виде растворов в соответствии со схемой

опыта. Площадь опытных делянок - 1 м², повторность – трехкратная, расположение делянок – рандомизированное.

В 2020 г. после внесения удобрений высевали травосмесь газонных трав производства ООО Агрофирмы «Русские газоны». Состав использованной травосмеси: тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.) 40 %, овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.) 20 %, райграс однолетний (*Lolium temulentum* L.) 20 %, райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.) 20 %. Норма высева составила 40 г/м². Всходы газонных трав появились через 7 суток после посева.

Таблица 1. Схема мелкоделяночного опыта с газонными травами и число внесения удобрений 2020-2022 гг.

Варианты опыта		2020 г.	2021 г.	2022 г.
1	Контроль без удобрений	Удобрения не вносили		
2	Азофоска в растворе	N60P60K60 (за 1 внесение)	N60P60K60 (за 4 внесения)	
3	Универсал в растворе	N60P60K60 (за 1 внесение)	N60P60K60 (за 4 внесения)	
4	Мочевина в растворе	N60P60K60 (за 4 внесения)	N60P60K60 (за 4 внесения)	
5	Гранулированная мочевина	N60P60K60 (за 1 внесение)	N60P60K60 (за 4 внесения)	
6	Капсулированная мочевина + гранулированная мочевина (3:1)	N60P60K60 (за 1 внесение)		
7	Капсулированная мочевина	N60P60K60 (за 1 внесение)		

В 2020 г., после закладки опыта, внесения удобрений и посева газонных трав было проведено 2 укоса (сентябрь, октябрь 2020 г.). В 2021-2022 гг. газон стригли 4 раза в первых числах мая, июня, июля и августа до высоты травостоя 4-5 см. Образцы растительного материала и пробы почвы отбирали четыре раза за вегетационный период.

ОПЫТ 2. Изучение влияния сроков и доз инновационных комплексных удобрений на биопродуктивность и качество старовозрастного паркового газона

Опыт был заложен на территории Ботанического сада МГУ имени М.В.Ломоносова в 2020-2022 гг. Посев газонных трав на опытном участке был осуществлен в 2014 г. парковой травосмесью, состоящей из райграса (*Lolium* sp.), мятлика (*Poa pratensis* L.) и овсяницы луговой (*Festuca pratensis* Huds.). До проведения опыта в 2020 г. на газон не вносили минеральные удобрения. Так же отсутствовала регулярная стрижка и очистка от газонного войлока, что, вероятно, послужило причиной возникновения проплешин и инвазии сорной растительности. Таким образом, до внесения удобрений, изучаемый в Ботаническом саду газон имел низкую степень декоративности, характеризовался значительной изреженностью травостоя.

Тип почвы – урбанозем. Размер опытных делянок – 4 м². Повторность опыта - трехкратная. Расположение вариантов опыта – рандомизированное. В течение 2020-2022 гг. проводили регулярные стрижки газонных трав на высоту 4-5 см. Образцы растительного материала и пробы почвы отбирали четыре раза за вегетационный период.

Почва корнеобитаемого слоя почвы перед закладкой опыта характеризовалась: близким к нейтральному значению актуальной кислотности рН водной вытяжки -

6,36, низким содержанием минеральных форм азота – 2,58 мг/кг N-NO₃⁻ и 1,18 мг/кг N-NH₄⁺ и высоким содержанием подвижных форм фосфора и обменного калия - 218,0 и 225,1 мг/кг почвы, соответственно. Содержание меди – 13,6 мг/кг, содержание цинка – 56,3 мг/кг.

В опыте №2 изучали влияние на состояние газонного покрытия дробного внесения 2 доз комплексных минеральных удобрений. За рабочую гипотезу было принято, что на почвах с высоким уровнем фосфора и калия нецелесообразно вносить одинаковые дозы азота, фосфора и калия. Для подтверждения этой гипотезы были выбраны 4 комплексных удобрения – два с выровненным содержанием (1:1:1) NPK: нитроаммофоску, фирмы ООО «Нов-Агро» (8,5% N-NH₄⁺, 7,5 % N-NO₃⁻, 15 % P₂O₅, 15 % K₂O) и Универсал (АО «ОХК «УРАЛХИМ») и два комплексных удобрения той же фирмы с более низким содержанием РК – азофоска (14 % N-NH₄⁺, 12,1 % N-NO₃⁻, 5,5 % P₂O₅, 5,5 % K₂O, 2 % S) и нитроаммофоска (10,0 % N-NH₄⁺, 10 % N-NO₃⁻, 10,0 % P₂O₅, 10,0 % K₂O (для удобства, это удобрение в тексте будет называться нитроаммофоска S).

Дозы всех удобрений рассчитывали по азоту. Изучали действие двух доз азота – 60 кг/га (одинарная доза) и 120 кг/га (двойная доза), вносимых дробно. В 2020 г. были проведены две подкормки: первая подкормка – в конце июля, а вторая – в конце августа. В 2021 г. те же дозы минеральных удобрений вносили 4 раза, разделив исходные дозы на 4 части (28.05, 2.07, 3.08 и 1.09.2021). В 2022 г. также было проведено четыре подкормки (26.05., 29.06., 29.07. и 29.08.2022). Удобрения вносили вручную на поверхность скошенного газона. Схема опыта представлена в Таблице 2.

Таблица 2. Схема микрополевого опыта с газонными травами и число внесения удобрений 2020-2022 гг.

Варианты опыта		2020 г.	2021 г.	2022 г.
1	Контроль	Удобрения не вносили		
2	Азофоска (NPKS 27:6:6:2), доза 60 кг азота по д.в.	N60P13K13 (за 2 внесения)	N60P13K13 (за 4 внесения)	
3	Азофоска (NPKS 27:6:6:2), доза 120 кг азота по д.в.	N120P26K26 (за 2 внесения)	N120P26K26 (за 4 внесения)	
4	Нитроаммофоска S (NPKS 21:10:10:2), 60 кг азота по д.в.	N60P29K29 (за 2 внесения)	N60P29K29 (за 4 внесения)	
5	Нитроаммофоска S (NPKS 21:10:10:2), 120 кг азота по д.в.	N120P58K58 (за 2 внесения)	N120P58K58 (за 4 внесения)	
6	Универсал (NPK 18:18:18), 60 кг азота по д.в.	N60P60K60 (за 2 внесения)	N60P60K60 (за 4 внесения)	
7	Универсал (NPK 18:18:18), 120 кг азота по д.в.	N120P120K120 (за 2 внесения)	N120P120K120 (за 4 внесения)	
8	Нитроаммофоска (NPK 15:15:15), 60 кг азота по д.в.	N60P60K60 (за 2 внесения)	N60P60K60 (за 4 внесения)	
9	Нитроаммофоска (NPK 15:15:15), 120 кг азота по д.в.	N120P120K120 (за 2 внесения)	N120P120K120 (за 4 внесения)	

Методы исследования почвогрунтов и растений

Пробы почвы и почвогрунтов в опытах отбирали методом конверта из пяти точек почвенным буром на глубину 0-15 см. В отобранных образцах почвогрунтов и почв проводили определение pH водной вытяжки потенциметрически (ГОСТ 26423-85) на иономере; содержание органического вещества по методу Тюрина (ГОСТ 26213-2021); аммонийный азот – фотометрически, нитратный азот – по Грандвальд-Ляжу, подвижные формы фосфора и калия в вытяжке Кирсанова (ГОСТ 54650-2011, фосфор – фотометрически после окрашивания по Дениже, калий – на пламенном фотометре);

содержание цинка, меди в 1М вытяжке соляной кислоты (атомно-абсорбционный спектрофотометр Hitachi-1981, Япония) (Минеев, 2001).

Отобранные растительные образцы взвешивали для оценки влияния изучаемых удобрений и расчета первичного интегрального показателя – биопродуктивности, (Тюльдинов и др., 2002). Далее, растительный материал фиксировали 10 минут при температуре 90° в сушильном шкафу, после чего досушивали при комнатной температуре. Азот, фосфор, калий в образцах определяли после мокрого озоления по Гинзбург. Содержание общего азота – методом Кьельдаля в системе для программируемой дистилляции «Vapodest 30» (ФРГ), содержание фосфора – фотометрически после окрашивания по Дениже, содержание калия – методом пламенной фотометрии. Определение содержания фотосинтетических пигментов (хлорофилла а и b) проводили в свежих образцах растительного материала фотометрически после экстрагирования пигментов 100% ацетоном (Третьяков, 1990). Содержание микроэлементов в растениях (цинк, медь) - после сухого озоления и растворения золы в 10 % смеси азотной и соляной кислот атомно-абсорбционным методом (Минеев, 2001).

Динамику изменения проективного покрытия травостоя оценивали визуально с использованием рамки Раменского.

Погодные условия в 2020-2022 гг. оценивали по данным метеостанции МГУ. Гидротермические коэффициенты Селянинова ГТК (Селянинов, 1928), в годы исследования:

2020 г.: июль - 1,6 (избыточное увлажнение), август – 1,01 (обеспеченное увлажнение).

В 2021 г.: июнь – 0,66 (очень засушливые условия), июль – 0,31 (очень засушливые условия), август – 1,5 (избыточное увлажнение).

В 2022 г.: май – 1,42 (избыточное увлажнение), июнь – 0,97 (засушливые условия), июль – 0,96 (засушливые условия), август – 0,58 (очень засушливые условия). Среднесуточные температуры в мае-сентябре в 2021 году были выше, чем в 2022 г.

Для статистической обработки результатов и их графического представления использовали программы «Excel 2016» и программный пакет для статистического анализа данных «STATISTICA 10». Для всех результатов были приведены расчеты наименьшей существенной разницы НСР с доверительным уровнем 5 %.

Глава III. Результаты и обсуждение

3.1 Опыт 1. Сравнительная эффективность однократного применения капсулированной мочевины и дробного внесения азотных удобрений при создании и эксплуатации газонного покрытия на искусственных почвогрунтах

За время проведения исследования рН почвогрунта незначительно понизился, что может усиливать мобилизацию питательных элементов и увеличению их потребления растениями.

Одним из основных факторов при растворении мочевины, определяющих развитие газонных трав, является уровень азотного питания. Для анализа питания растений азотом было рассмотрена динамика содержания нитратного и аммонийного азота в почве. Отмечено накопление аммонийного азота на вариантах с внесением гранулированной мочевины и при совместном внесении гранулированной и капсулированной мочевины в 2021 г., что связано с погодными условиями, а именно с

замедлением процессов нитрификации. В 2022 г. это явление не наблюдалось по всем вариантам опыта. Это обусловлено усилением процесса нитрификации в июне-августе 2022 г. (рис. 2).

Анализ динамики нитратного азота демонстрирует накопление $N-NO_3^-$ в почве во всех вариантах опыта. В 2021-2022 гг. на варианте с внесением удобрения Универсал в растворе отмечены наибольшее по опыту содержание $N-NO_3^-$ (7,54 и 9,66 мг/кг в 2021 г. и 2022 г. соответственно), на остальных вариантах содержание нитратного азота в почве оставалось примерно на одном уровне (рис. 2).

Изучение соотношения форм минерального азота позволяет оценить протекание процессов трансформаций азота вносимых удобрений. Оценочным показателем протекания процесса трансформации азота служит доля аммонийного азота от величины минерального азота. На вариантах с внесением капсулированной мочевины и удобрения Универсал, вносимого в растворенной форме, происходило снижение доли аммонийной формы азота (рис. 1).

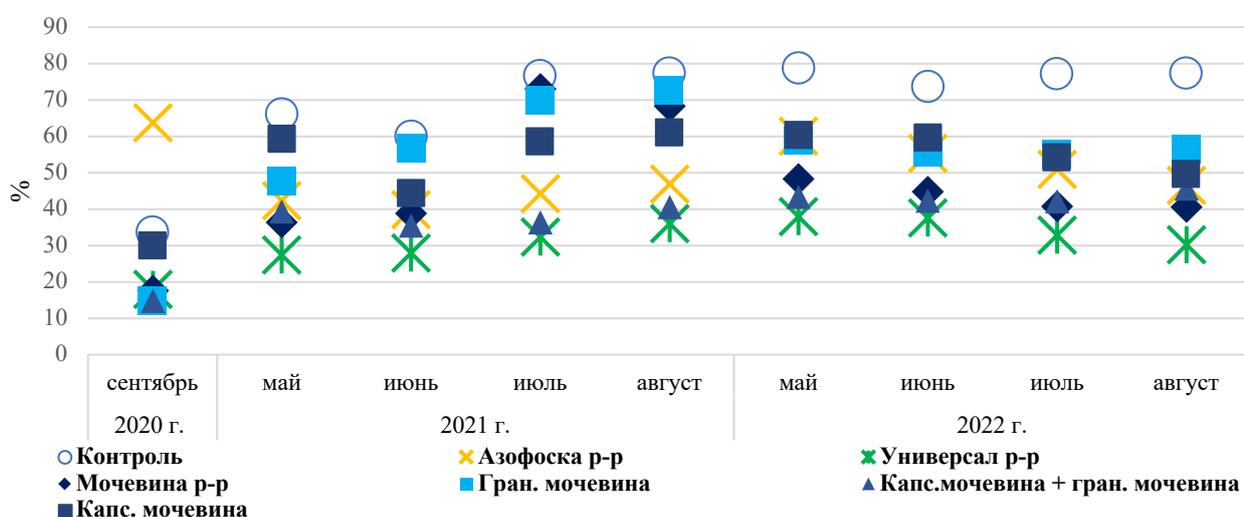


Рисунок 1. Динамика процентного отношения аммонийного азота к сумме аммонийного и нитратного азота в почвогрунте, %.

На варианте с внесением капсулированной мочевины низкая доля аммонийного азота обусловлена постепенным высвобождением азота из капсул удобрений, амидный азот, поступающий при этом в почвенный раствор, может в дальнейшем подвергаться нитрификации (рис. 1).

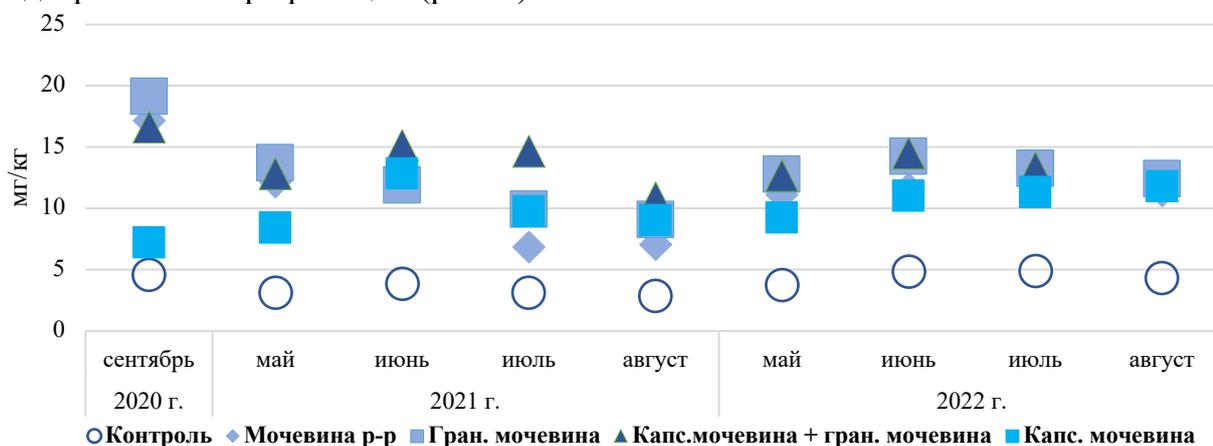


Рисунок 2. Динамика содержания минерального азота в почвогрунте ($N-NH_4^+$ + $N-NO_3^-$), мг/кг.

Содержание азота в растениях газонных трав является информативной характеристикой, так как этот элемент отвечает за накопление биомассы и опосредованно влияет на интенсивность окраски растений. Результаты исследований показали, что накопление азота в растениях происходит в первой половине вегетационного периода с мая по июль, где максимальное содержание отмечено в июле (рис. 3, 4).

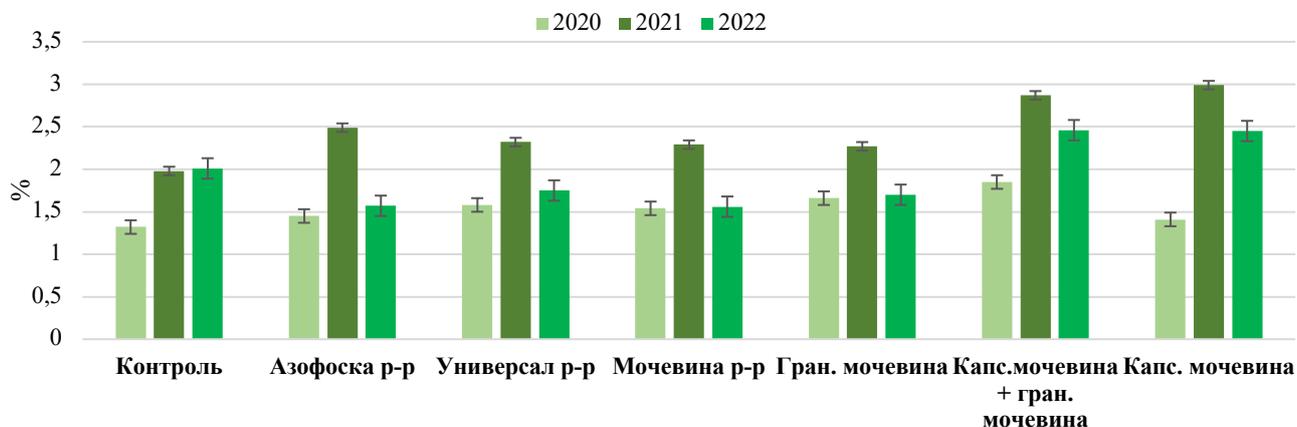


Рисунок 3. Содержание общего азота в растениях после укоса в июне, %. Вертикальными линиями на графике отмечено значение $НСР_{0,05}$ (в 2020 г. – 0,08, в 2021 г. – 0,05, в 2022 г. – 0,12).

В дальнейшем отмечается снижение потребления этого элемента, подобная картина связана с изменением длины светового дня. Максимальные значения отмечены на вариантах с внесением гранулированной мочевины и гранулированной и капсулированной мочевины за весь период исследований (рис. 4).

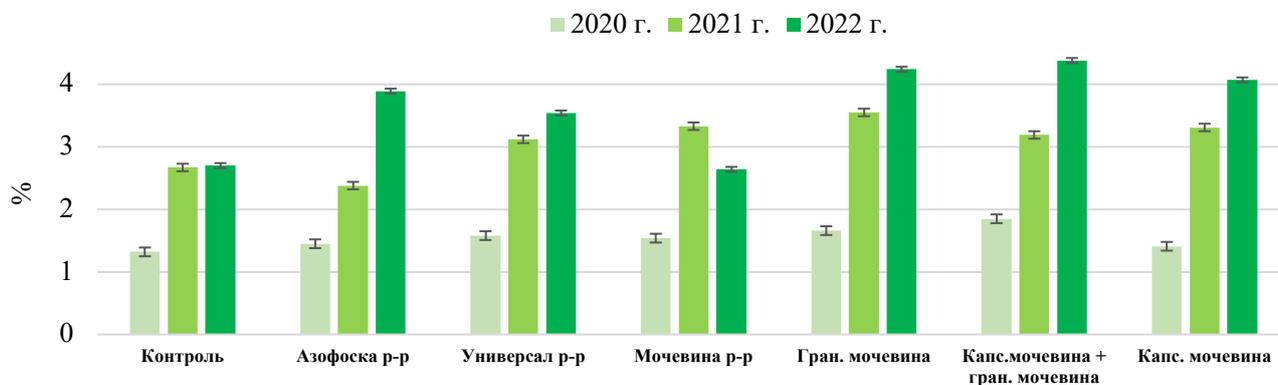


Рисунок 4. Содержание общего азота в растениях после укоса в июле, %. Вертикальными линиями на графике отмечено значение $НСР_{0,05}$ (в 2020 г. – 0,07, в 2021 г. – 0,06, в 2022 г. – 0,04).

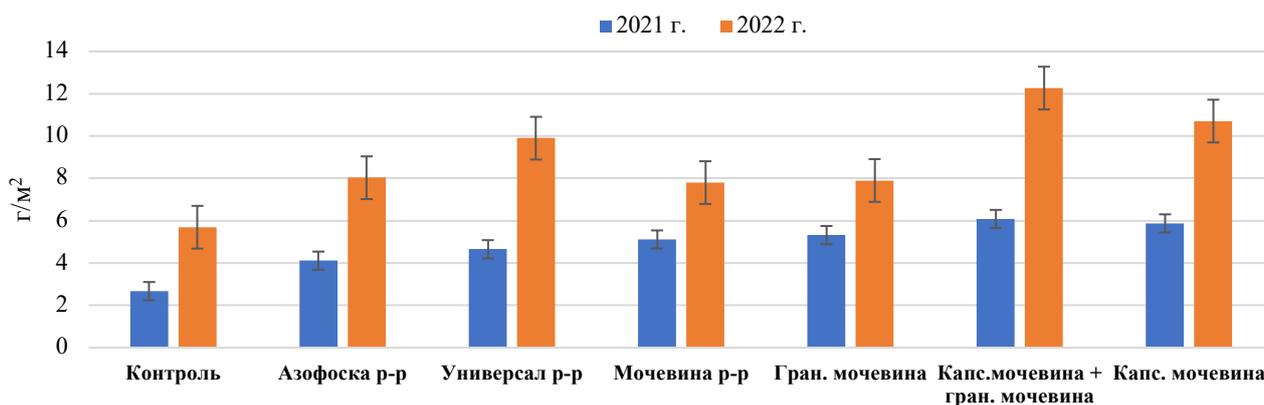


Рисунок 5. Вынос азота из почвогрунта растениями за вегетационный период, г/м². Вертикальными линиями на графике отмечено значение НСР_{0,05} (в 2021 г. - 0,43, в 2022 г. - 1,01).

Весна-лето 2021 г. характеризовались экстремально высокими температурами и отсутствием осадков (ГТК 0,31-0,66). Подобные погодные условия являлись основной причиной угнетения роста растений и как следствие, низкого выноса азота растениями. Количество азота, отчуждаемого биомассой на всех вариантах с удобрениями, было ниже дозы вносимого азота.

В 2022 г. вынос азота с биомассой растений был значительно выше по всем вариантам опыта, чем в 2021 г, что связано с благоприятными погодными условиями. Самый высокий вынос азота из почвогрунта отмечали на варианте с капсулированной мочевиной и гранулированной мочевиной, он почти в два раза превысил величину азота, вносимого с удобрениями (рис. 5).

Для создания газонных покрытий высокого качества в условиях города особенно интересным представляется изучение фосфорного питания растений для оценки их экологической устойчивости.

Почвогрунт, использовавшийся при закладке опыта характеризовался высоким содержанием подвижного фосфора (209,3 мг/кг). Однако, даже при внесении фосфорных удобрений, его содержание в растениях было очень низким в 2020 г. от 0,11 до 0,16 %. В 2021 г. содержание фосфора в растениях на вариантах с внесением удобрений в виде растворов и на контрольном варианте достигало оптимальных значения по этому элементу (opt – 0,3-0,4 %). В вариантах опыта с внесением гранулированной мочевины, смеси гранулированной мочевины с капсулированной мочевиной и капсулированной мочевины содержание фосфора было в 1,2-1,5 раза выше. Самые высокие значения отмечены в 2022 г. в растениях на вариантах с внесением растворов удобрения Универсал и азофоски (0,65 %). Отмечено, что максимальное накопление фосфора в листьях газонных трав в 2021-2022 гг. происходит в июле. Таким образом, ежегодное внесение фосфора в почву в дозе 60 кг/га по д.в. обеспечивало сбалансированное питание растений этим элементом (рис. 6).

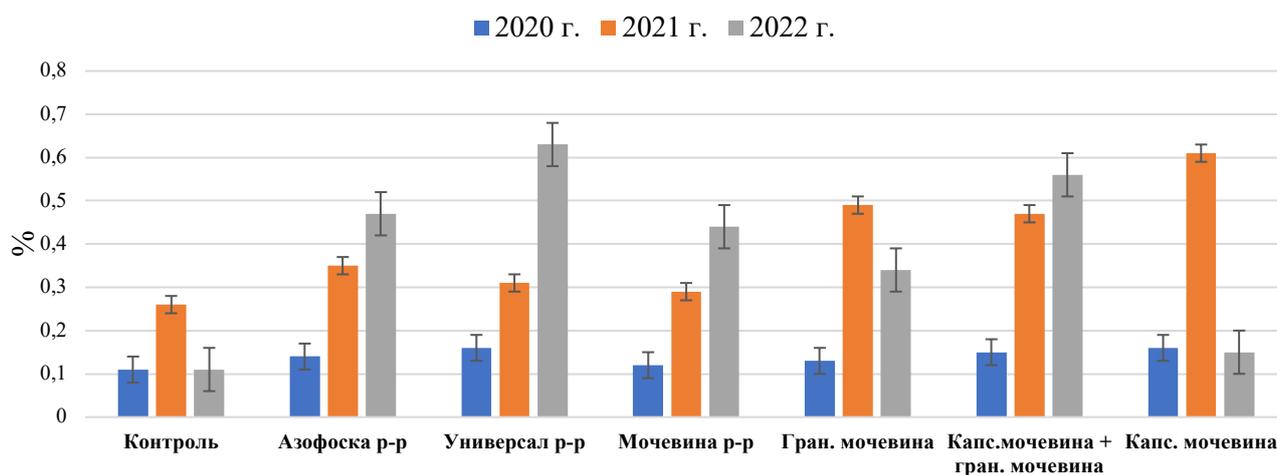


Рисунок 6. Содержание фосфора в растениях после укоса в июне, %. Вертикальными линиями на графике отмечено значение НСР_{0,05} (в 2020 г. - 0,05, в 2021 г. - 0,04, в 2022 г. - 0,04).

При рассмотрении выноса фосфора растениями из почвогрунта отмечено, что вынос в 2021 г. был ниже, чем в 2022 г., что вероятно вызвано с увеличением биомассы газонных трав за счет развития корневой системы. При этом вынос не превышал величину фосфора, поступавшего с удобрениями (рис. 7).

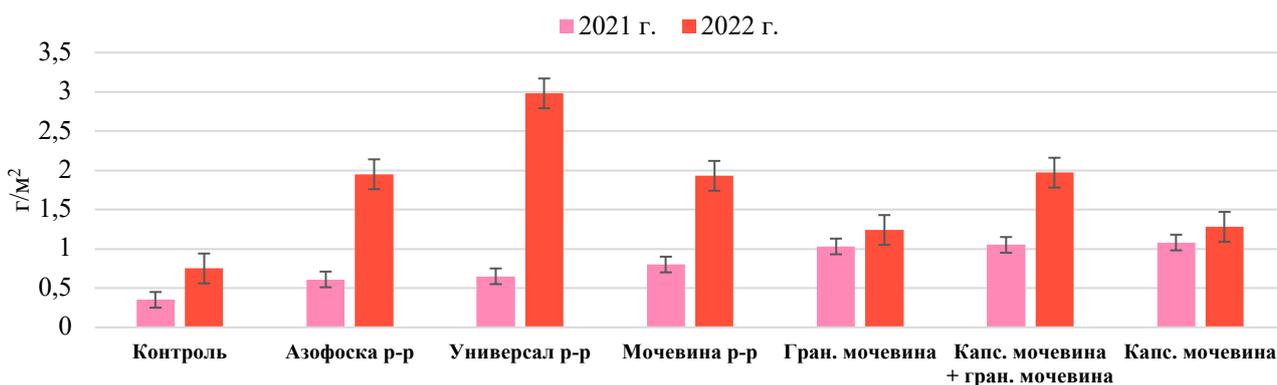


Рисунок 7. Вынос фосфора из почвогрунтов растениями за период вегетации, г/м². Вертикальными линиями на графике отмечено значение НСР_{0,05} (в 2021 г. - 0,1, в 2022 г. - 0,19).

Оптимизация питания газонных трав калием достигается регулярным применением калийных удобрений, что способствует получению плотного травостоя. Дефицит калия в почвах газонов, по мнению ряда зарубежных авторов, приводит к увеличению заболеваемости газонных злаков и снижению толерантности к стрессовым воздействиям окружающей среды (Perrenoud, 1990). В научной литературе нет единого мнения об оптимальном уровне содержания калия в листьях и стеблях газонных трав. Уровень калия, который считается оптимальным, может колебаться от 1,5% до 3,5%.

В опыте калийные удобрения вносили в почву ежегодно (60 кг/га по д.в.). В первый год эксперимента содержание калия в молодых растениях, при внесении растворов комплексных удобрений в почвогрунт, колебалось в интервале 2,2%-2,38%. Наибольшее содержание калия в растениях отмечено при внесении в качестве источника азота раствора мочевины и капсулированной мочевины (табл. 3).

Таблица 3. Содержание калия в растениях, %.

Варианты опыта	2020 г.		2021 г.				2022 г.			
	сентябрь	октябрь	май	июнь	июль	август	май	июнь	июль	август
Контроль	1,96	1,6	1,3	1,51	1,38	1,1	1,24	1,31	1,42	1,68
Азофоска р-р	2,35	2,14	1,42	1,72	1,56	1,69	1,47	1,59	1,73	1,88
Универсал р-р	2,38	2,2	1,38	1,63	1,43	1,57	1,44	1,68	1,78	2,01
Мочевина р-р	2,76	2,34	1,36	1,69	1,53	1,5	1,46	1,65	1,61	1,78
Гран. мочевины	2,36	2,09	1,28	1,66	1,54	1,49	1,35	1,56	1,64	1,89
Капс. мочевины + гран. мочевины	2,71	2,38	1,46	1,73	1,52	1,52	1,55	1,69	1,68	1,79
Капс. мочевины	2,66	2,33	1,41	1,81	1,54	1,53	1,49	1,58	1,88	2,08
НСР	0,05	0,04	0,04	0,08	0,04	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03

После выхода растений из-под снега в 2021 г. содержание калия в растениях упало в 1,5-1,8 раза на всех вариантах опыта. Не отмечено преимущественного влияния мочевины в растворе и в гранулированной форме на этот показатель не наблюдали. В 2021 г. ко второму отбору растительной биомассы содержание калия повысилось в среднем на 25-32% на всех вариантах опыта. В 2022 г. в сравнении с значениями 2021 г. содержание калия в растениях возрастало в 1,2-1,4 раза, кроме растений контрольного варианта.

Самые высокие значения содержания калия в зеленой массе отмечались на вариантах с внесением капсулированной мочевины в августе 2022 г. (табл. 3).

В 2021 г. из-за погодных условий суммарный вынос калия из почвогрунта растениями колебался в интервале 2,6-3,94 г на м², прослеживается положительная корреляция выноса и суммарной величины биомассы. В 2022 г. суммарный вынос калия увеличивается, а баланс калия становится отрицательным, то есть вынос превышает величину вносимых калийных удобрений на всех вариантах кроме Контроля (рис. 8).

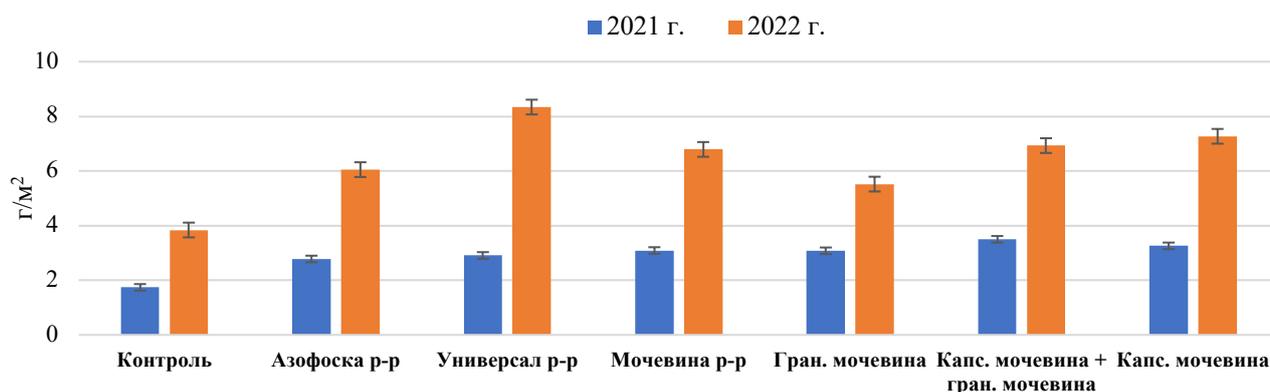


Рисунок 8. Вынос калия растениями из почвогрунта, г/м². Вертикальными линиями на графике отмечено значение НСР_{0,05} (в 2021 г. - 0,12, в 2022 г. - 0,27).

На основании анализа выноса калия растениями на вариантах с применением полного минерального удобрения, можно заключить, что дозу калийных удобрений необходимо корректировать в зависимости от погодных условий.

Почвенные показатели, дозы и формы удобрений определяли величину биомассы газонных трав. В первый год исследований (2020 г.) после посева газонных трав все вносимые удобрения увеличили биомассу растений по сравнению с контролем в 4-5 раз. Статистически значимые различия наблюдались только между

вариантами с использованием гранулированной мочевины и смеси гранулированной и капсулированной мочевины.

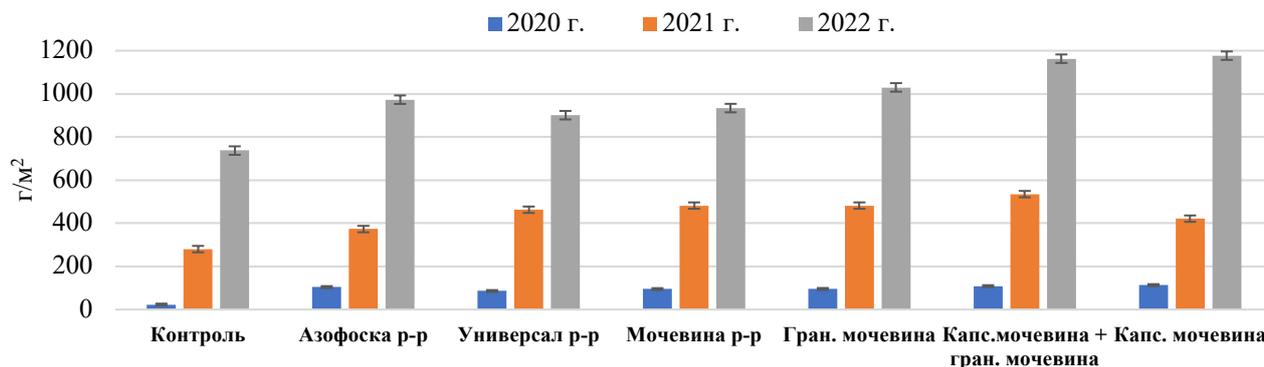


Рисунок 9. Суммарная биомасса при естественной влажности всех укосов газонных трав за период вегетации, г/м² сырого веса. Вертикальными линиями на графике отмечено значение НСР_{0,05} (в 2020 г. – 4,5, в 2021 г. – 14,8, в 2022 г. – 19,7).

В 2021 общая биомасса (за 4 укоса) достоверно отличалась на всех вариантах опыта от контроля. Ее максимальная величина отмечается на варианте с применением смеси капсулированной и гранулированной мочевины.

В 2022 г. биомасса газонных трав, по сравнению с 2021 г., значительно увеличивается на всех вариантах опыта, что объясняется благоприятными погодными условиями. Максимальные достоверные значения общей биомассы газонных трав отмечены на вариантах с внесением капсулированной мочевины и капсулированной мочевины в смеси с гранулированной мочевиной. Применение раствора мочевины не было эффективней гранулированной мочевины, вносимой поверхностно. Величины биомассы газонных трав на вариантах опыта с применением растворов удобрения Универсала, азофоски и мочевины значимо между собой не отличались. Таким образом, однократное внесение капсулированной мочевины может заменить частое внесение удобрений как в растворенной, так и в твердой форме (рис. 9).

Сумма хлорофилла а и b в газонных травах может служить информативной характеристикой, которая позволяет косвенно оценить состояние фотосинтетического аппарата. Но этот показатель довольно изменчив и определяется погодными условиями и обеспеченностью растений основными элементами минерального питания. Содержание хлорофилла влияет на интенсивность окраски газонных трав и является показателем их декоративности. За время проведения опыта, значимой разницы между содержанием хлорофилла по вариантам опыта не наблюдали. При этом максимальные значения достигались за годы исследований на вариантах с внесением капсулированной мочевины и смеси гранулированной и капсулированной мочевины (рис. 10).

Можно предположить, что поглощение растениями азота из почвы косвенно влияет на гармоничную работу фотосинтетического аппарата газонных трав и накопление пигментов. На основании проведенного дисперсионного анализа показал, что на протяжении эксперимента между содержанием общего азота и суммой хлорофилла а и b в растениях есть положительная зависимость ($F_{набл.} > F_{крит.}$).

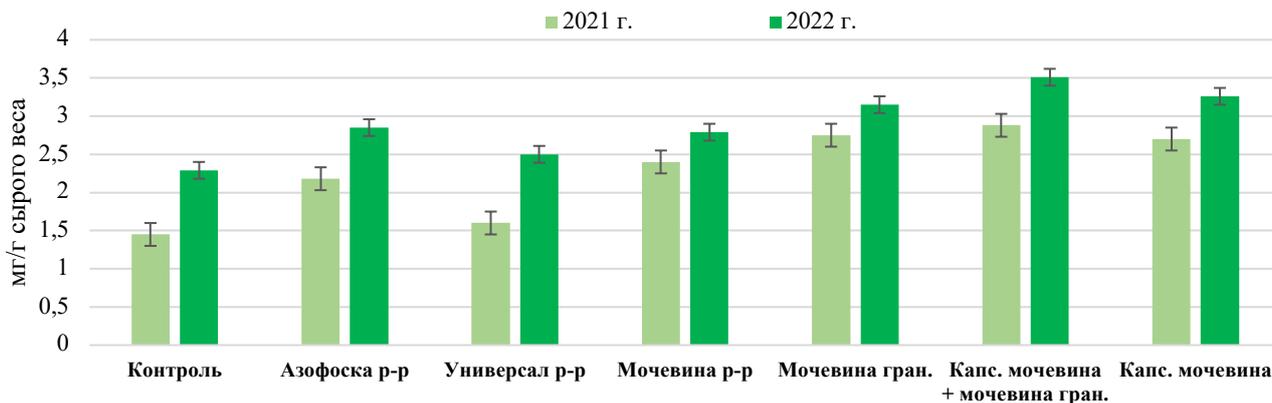


Рисунок 10. Сумма хлорофилла а и b в растениях третьего укоса, мг/г сырого веса. Вертикальными линиями на графике отмечено значение НСР_{0,05} (в 2021 г. – 0,15, в 2022 г. – 0,11).

Обеспеченность растений медью и цинком очень важен для произрастания газонных трав. Злаки очень остро реагируют на дефицит этих микроэлементов в почве. В качестве оптимального содержания кислоторастворимой меди в газонных травах приводятся значения в 5-15 мг/кг, для кислоторастворимого цинка интервал для, например, мятликов и овсяниц – 30 мг/кг (Kleiber, Komosa, 2011). Содержание меди в газонных травах в 2020 г. варьировалось в интервале от 2,34 мг/кг в контрольном варианте до 2,76 мг/кг в варианте с внесением удобрения Универсал в растворе, содержащим в своем составе медь. Наблюдение за динамикой содержания меди в травах в 2021 г. показало, что содержание меди динамически изменяется за период вегетации. Максимальное содержание этого элемента отмечается в июне – периоде максимального накопления биомассы и наиболее интенсивного протекания синтетических процессов. К августу содержание меди снижается практически в 1,5-2 раза по сравнению с июнем. На вариантах с использованием в качестве источника азота мочевины, содержание меди самое высокое в опыте. По мнению ряда авторов, существует синергизм между азотным питанием растений и поступлением, и накоплением в них меди, а как было показано выше, содержанием азота в травах на вариантах с удобрениями с мочевиной было самым высоким (Cui et al., 2022).

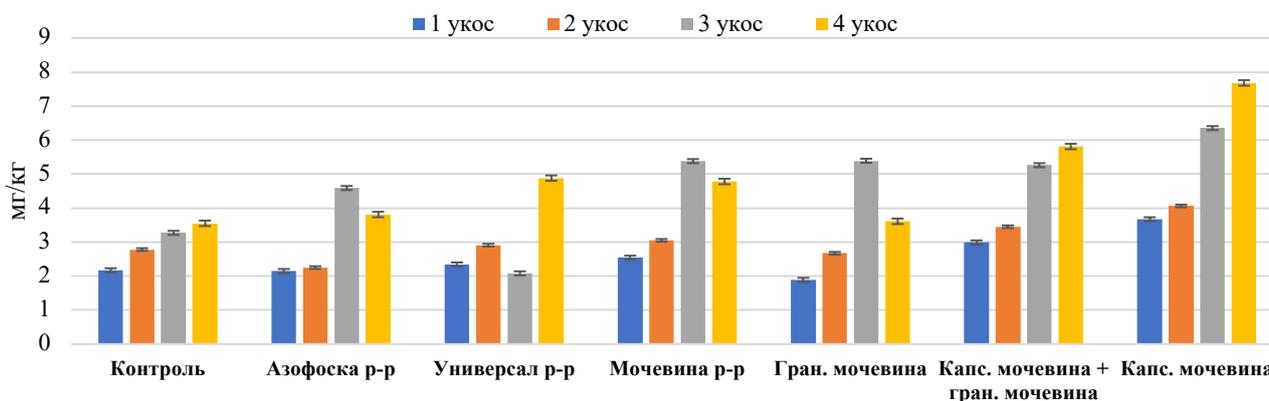


Рисунок 11. Содержание меди в растениях в 2022 г., мг/кг. Вертикальными линиями на графике отмечено значение НСР_{0,05} (1 укос - 0,06, 2 укос - 0,04, 3 укос - 0,06, 4 укос - 0,08).

В 2022 году наблюдается схожая тенденция по содержанию меди в биомассе трав. Но максимум содержания меди сдвигается на июль и коррелирует с содержанием азота в травах в этот период. К августу содержание меди на вариантах

опыта не падает, как в предыдущем году, а остается достаточно высоким, что связано с метеоусловиями и продолжающимся интенсивным ростом. Максимальное содержание меди отмечено для всех укосов на вариантах с мочевиной, вносимых во всех формах, что связано с более гармоничным питанием растений азотом (рис. 11). При этом, надо отметить, что содержание в почве меди – было высоким (Ринькис, 1963).

Рассматривая питание газонных трав цинком, было отмечено, что содержание цинка в почвогрунте было оптимальным, а растения были хорошо обеспечены этим микроэлементом, согласно результатам, полученным в 2020 г. в начале опыта.

Наблюдение за динамикой содержания цинка в газонных травах второго года пользования свидетельствует о том, что во все сроки отбора образцов содержание цинка при внесении минеральных удобрений выше, чем на контроле. Максимальное содержание этого элемента отмечается в период с июня по август. Следует отметить, что самые высокие уровни накопления цинка в травах отмечены в июле на вариантах опыта с применением гранулированной мочевины, вносимой поверхностно, а также капсулированной мочевины и ее сочетания с гранулированной мочевиной.

В 2022 г., во все сроки отбора и на всех вариантах содержание цинка находилось в пределах оптимума. Самые высокие показатели содержания этого элемента отмечаются в июне - августе на вариантах с использованием всех форм мочевины, что связано с более гармоничным потреблением азота травами. Удобрение Универсал, в состав которого входит хелат цинка, только в мае месяце обеспечило более высокое потребление растениями цинка по сравнению с азофоской и мочевиной (рис. 12).

Таким образом, после завершения опыта осенью 2022 г. можно утверждать, что дробное внесение и пролонгированных азотных удобрений служит надежным способом подкормки газонных трав и поддержания стабильного содержания хлорофилла для улучшения декоративных свойств газонов. Проводимые подкормки позволили улучшить фосфорное и калийное питание газонных трав.

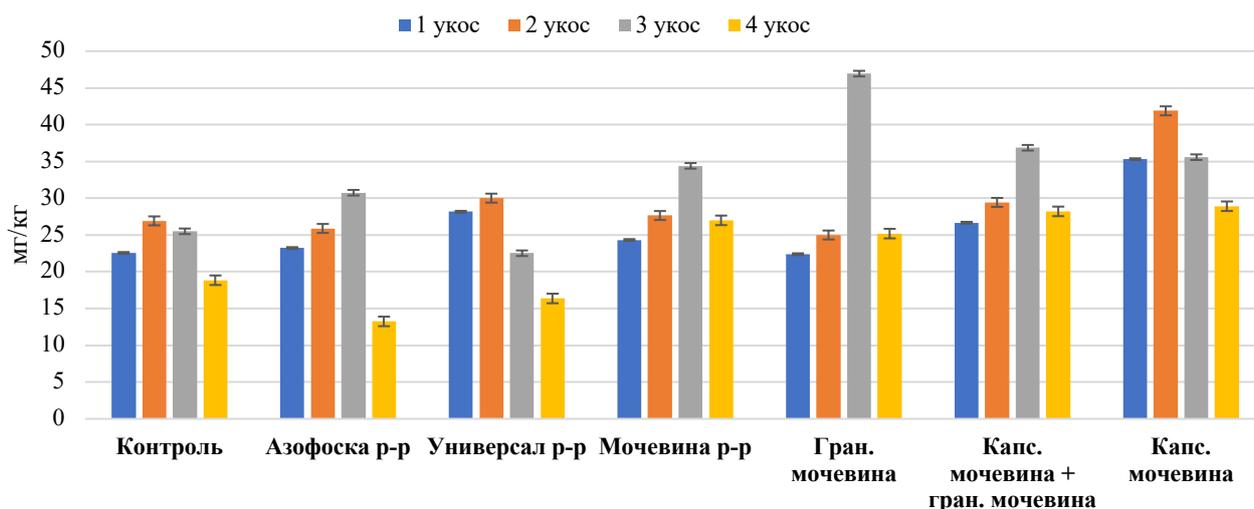


Рисунок 12. Содержание цинка в растениях в 2022 г., мг/кг. Вертикальными линиями на графике отмечено значение НСР_{0,05} (1 укос - 0,12, 2 укос - 0,61, 3 укос - 0,38, 4 укос - 0,65).

С целью оценки скорости формирования плотного газонного покрытия проводили наблюдение за динамикой проективного покрытия в опыте. Исследование динамики позволяет утверждать о существовании трех периодов в произрастании газонных трав. Первый период – это рост газонных трав после перезимовки и первого внесения подкормок минеральными удобрениями весной. Второй – снижение темпов роста при неблагоприятных климатических условиях летом, но, одновременное увеличение проективного покрытия по вариантам опыта. И, наконец, третий период – это максимальное формирование растительной биомассы к концу вегетационного периода (конец августа – сентябрь).

Анализ динамики формирования проективного покрытия за три года исследований (2020 – 2022 гг.) показал, что на всех вариантах опыта этот показатель увеличивался с весны к осени и достигал 100 % только на вариантах с применением всех видов мочевины (табл. 4).

Таблица 4. Проективное покрытие газонных трав во время проведения опыта 2020-2022 гг., %.

№	Варианты опыта	2020 г.	2021 г.		2022 г.	
		сентябрь	май	август	май	август
1	Контроль без удобрений	50	70	90	75	90
2	Азофоска в растворе	60	70	95	80	95
3	Универсал в растворе	60	70	95	80	95
4	Мочевина в растворе	60	70	100	80	100
5	Гранулированная мочевина	55	70	100	80	100
6	Капсулированная мочевина + гранулированная мочевина	60	75	100	85	100
7	Капсулированная мочевина	60	75	100	85	100

3.2 Опыт 2. Изучение влияния сроков и доз инновационных комплексных удобрений на биопродуктивность и качество старовозрастного паркового газона

Рассматривая блок с почвенными характеристиками при проведении опыта с старовозрастным газоном наблюдалось статистически значимое снижение кислотности почвенного раствора на протяжении 2020-2022 гг. При рассмотрении динамики содержания нитратного азота в почве отмечено его постепенное увеличение в почве к концу вегетации растений на всех вариантах опыта. Наибольшее накопление нитратов отмечено на вариантах с применением одинарной и двойной дозы удобрений нитроаммофоска и нитроаммофоска S (115,76 мг/кг и 109,16 мг/кг NO_3^- соответственно).

Содержание аммонийного азота в почве было выше значений на контроле во всех вариантах опыта и значимо не отличалось по вариантам с применением удобрений. Тем не менее наибольшие значения содержания аммонийного азота были отмечены на вариантах с применением нитроаммофоски S и азофоски в двойной дозе, что видимо связано с долей NH_4^+ (рис. 13).

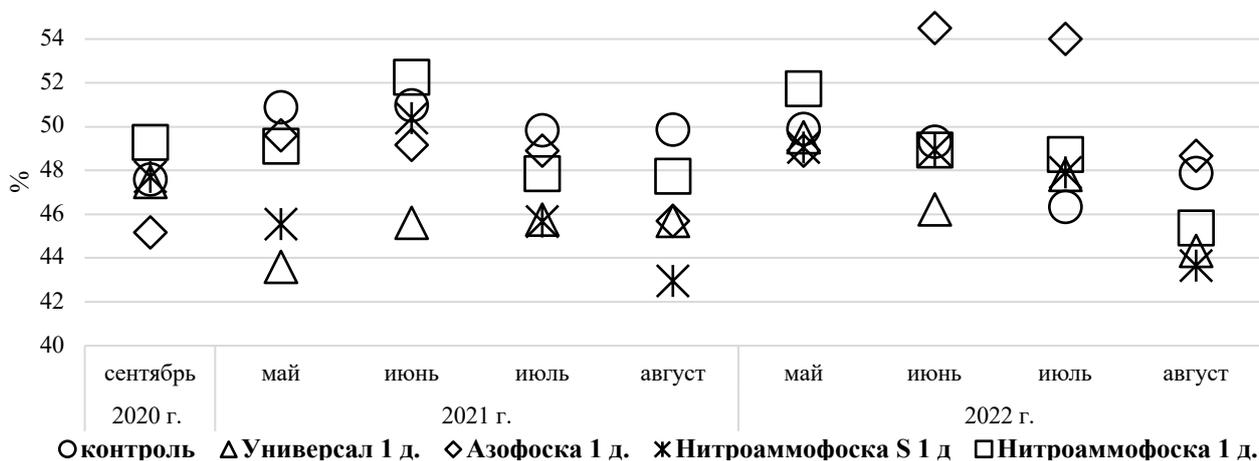


Рисунок 13. Динамика процентного отношения аммонийного азота к сумме аммонийного и нитратного азота в почве при внесении удобрений в одной дозе, %.

Анализ динамики доли аммонийного азота от суммы аммонийного и нитратного азота в почве продемонстрировал постепенное снижение к концу вегетации растений в 2022 г. (рис. 14).

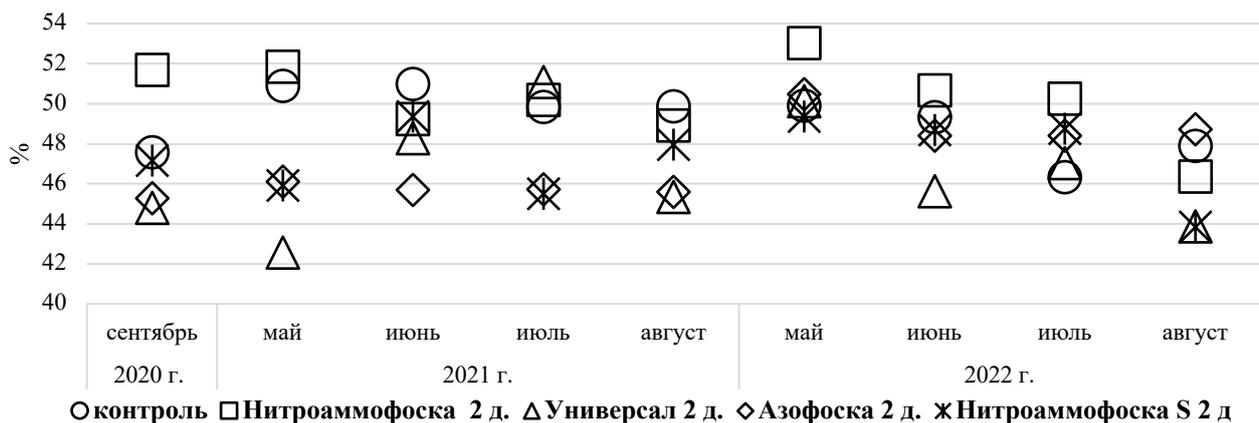


Рисунок 14. Динамика процентного отношения аммонийного азота к сумме аммонийного и нитратного азота в почве при внесении удобрений в двойной дозе, %.

Внесение в почву комплексных удобрений повышало содержание азота в растениях. Содержание этого элемента увеличивалось во всех вариантах опыта к концу вегетационного периода и было максимальным при внесении в почву удобрений Универсал, нитроаммофоска S и нитроаммофоска в двойной дозе.

Расчет выноса растениями азота из почвы продемонстрировал следующее: максимальный вынос в 2021 г. отмечали на вариантах с применением нитроаммофоски S, нитроаммофоски в двойной дозе. Вынос азота в 2021 г. на всех вариантах опыта не превышал общее количество вносимого азота в почву с удобрениями. В 2022 г. наибольший вынос азота отмечен на вариантах с внесением двойной дозы нитроаммофоски, Универсала и азофоски. При внесении низких доз удобрений в этом году отмечался отрицательный баланс азота в почве (рис. 15).

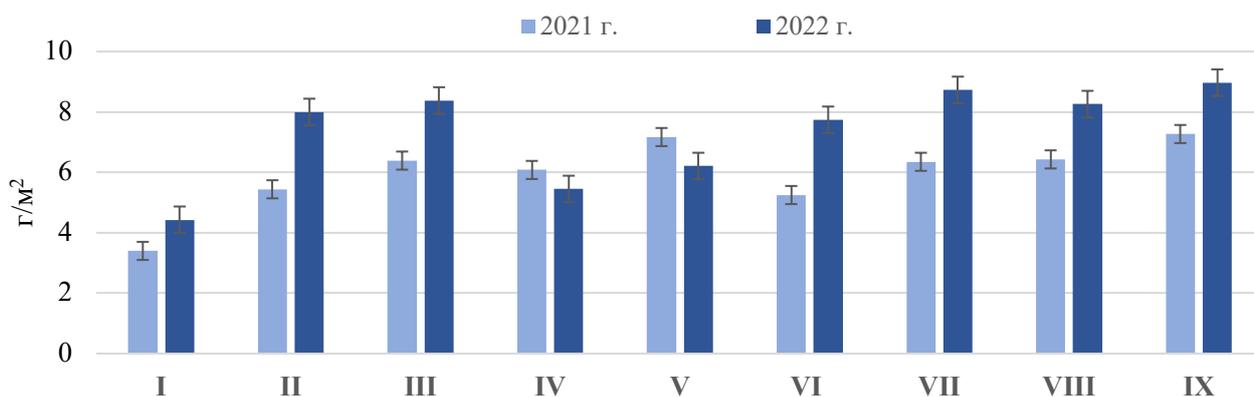


Рисунок 15. Вынос азота растениями из почвы за период вегетации, г/м². Варианты опыта: I – Контроль, II – азофоска 1 д., III – азофоска 2 д., IV – нитроаммофоска S 1 д., V – нитроаммофоска S 2 д., VI – Универсал 1 д., VII – Универсал 2 д., VIII – нитроаммофоска 1 д., IX – нитроаммофоска 2 д. Вертикальными линиями на графике отмечено значение НСР_{0,05} (в 2021 г. - 0,3, в 2022 г. - 0,44).

Вынос фосфора из почвы был ниже в 2021 г., чем в 2022 г. и не превышал количество внесенного с удобрениями фосфора в почву. Максимальный вынос этого элемента отмечен на варианте с удобрением нитроаммофоска в двойной дозе (рис. 16).

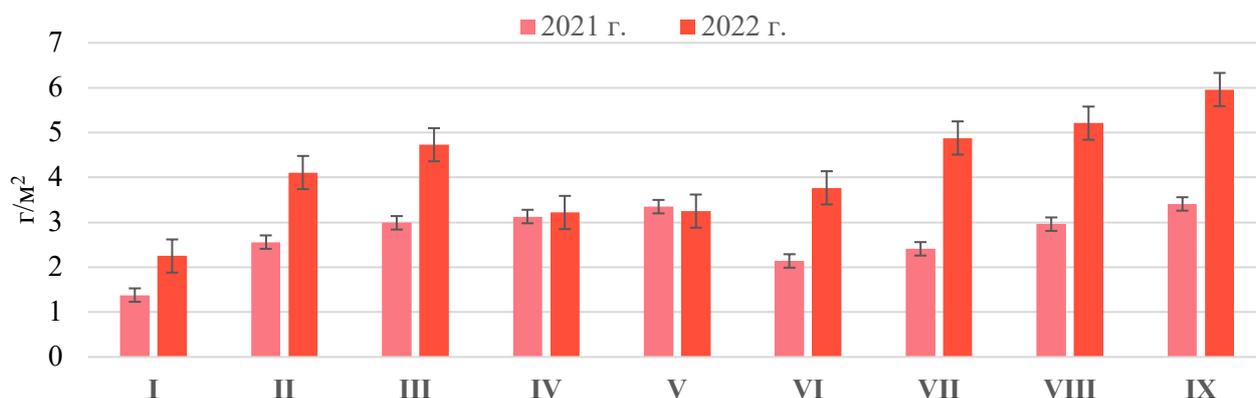


Рисунок 16. Вынос фосфора растениями из почвы за период вегетации, г/м². Варианты опыта: I – Контроль, II – азофоска 1 д., III – азофоска 2 д., IV – нитроаммофоска S 1 д., V – нитроаммофоска S 2 д., VI – Универсал 1 д., VII – Универсал 2 д., VIII – нитроаммофоска 1 д., IX – нитроаммофоска 2 д. Вертикальными линиями на графике отмечено значение НСР_{0,05} (в 2021 г. - 0,15, в 2022 г. - 0,37).

Вынос калия закономерно коррелирует с содержанием в газонных травах. Следует отметить, что в 2021 г. в связи с неблагоприятными погодными условиями вынос калия был ниже, чем в 2022 г. на всех вариантах опыта. К концу окончания опыта в 2022 г. вынос был максимальным на вариантах с удобрениями азофоска, Универсал и нитроаммофоска в двойной дозе. Количество отчуждаемого калия с растениями не превышало вносимую дозу калия на всех вариантах опыта как в 2021 г., так и в 2022 г. (рис. 17).

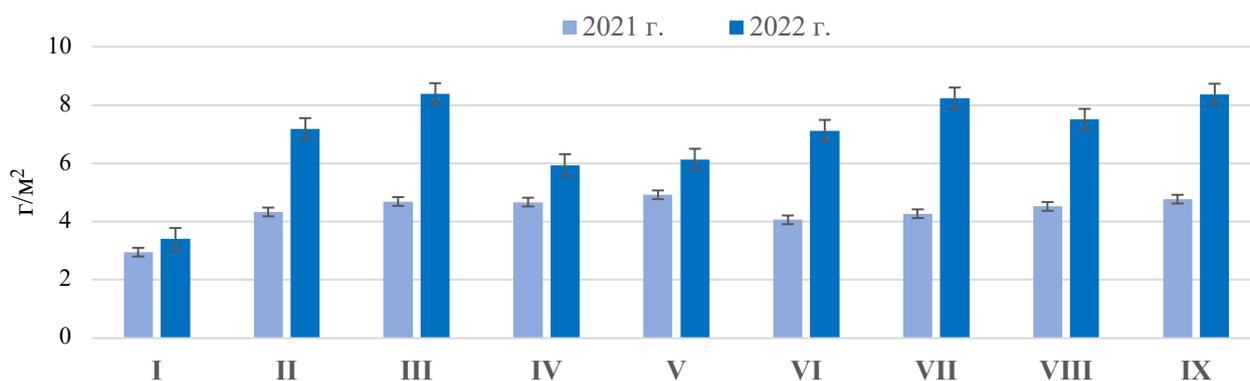


Рисунок 17. Вынос калия растениями из почвы, г/м². Варианты опыта: I – Контроль, II – азофоска 1 д., III – азофоска 2 д., IV – нитроаммофоска S 1 д., V – нитроаммофоска S 2 д., VI – Универсал 1 д., VII – Универсал 2 д., VIII – нитроаммофоска 1 д., IX – нитроаммофоска 2 д. Вертикальными линиями на графике отмечено значение НСР_{0,05} (в 2021 г. - 0,15, в 2022 г. - 0,37).

Содержание меди в газонных травах в 2021 г. колебалось в интервале от 5,29 мг/кг на контрольном варианте до 8,83 мг/кг на варианте с использованием удобрения Универсал, который содержит медь (рис. 18). Можно отметить, что в 2021 г. содержание меди в растениях ниже оптимума на всех вариантах опыта. В 2022 г. содержание этого элемента несколько снижается, что вероятно связано с ростовым разбавлением. Содержание в почве кислотрастворимых форм меди, определенных в вытяжке 1 М HCl, практически не меняется за время исследования. При закладке эксперимента содержание меди и цинка в почве составляло 13,6 мг/кг и 56,3 мг/кг соответственно.

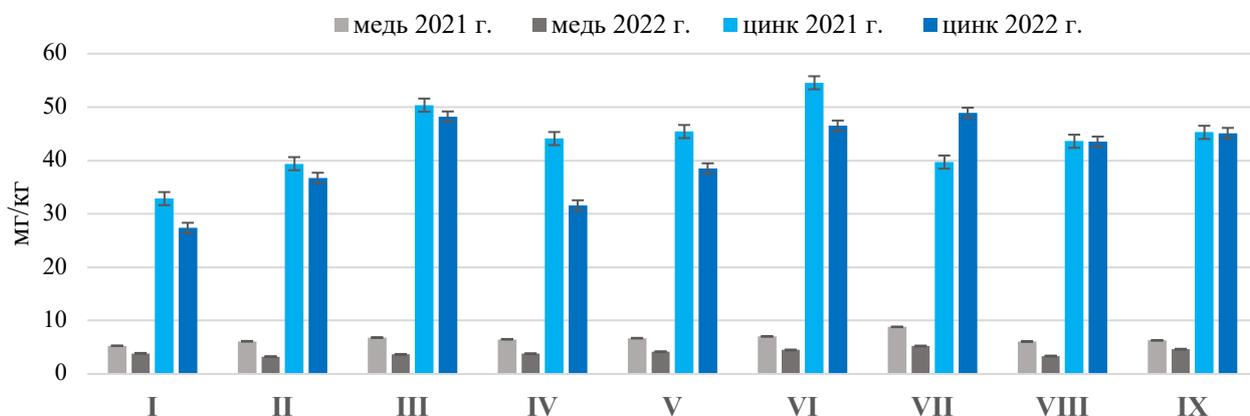


Рисунок 18. Содержание меди и цинка в растениях последнего укоса, мг/кг. Варианты опыта: I – Контроль, II – азофоска 1 д., III – азофоска 2 д., IV – нитроаммофоска S 1 д., V – нитроаммофоска S 2 д., VI – Универсал 1 д., VII – Универсал 2 д., VIII – нитроаммофоска 1 д., IX – нитроаммофоска 2 д. Вертикальными линиями на графике отмечены стандартные отклонения.

Содержание цинка в растениях во все годы исследования находилось на оптимальном уровне. Максимальное содержание этого элемента в растениях отмечалось на варианте с применением обеих доз удобрения Универсал.

Содержание в почве кислотрастворимых форм цинка после последнего укоса значительно не менялось за два года исследований (рис. 19).

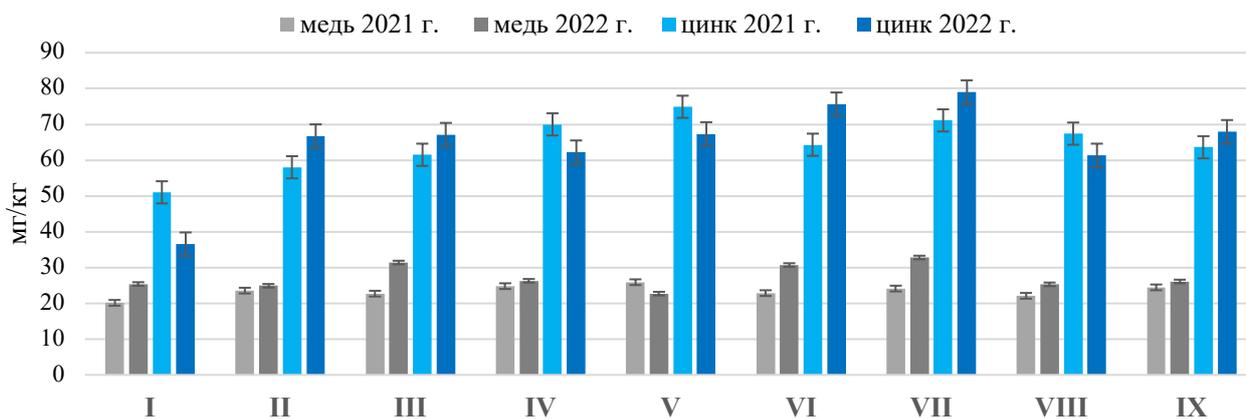


Рисунок 19. Содержание в почве кислотрастворимых форм (1 М HCl) меди и цинка после последнего укоса, мг/кг. Варианты опыта: I – Контроль, II – азофоска 1 д., III – азофоска 2 д., IV – нитроаммофоска S 1 д., V – нитроаммофоска S 2 д., VI – Универсал 1 д., VII – Универсал 2 д., VIII – нитроаммофоска 1 д., IX – нитроаммофоска 2 д. Вертикальными линиями на графике отмечены стандартные отклонения.

Эффективность вносимых удобрений так же оценивали по величине биомассы газонных трав (рис. 20). В 2020 г., после внесения удобрений, отмечается интенсивное развитие трав, что привело к увеличению биомассы на всех вариантах опыта. Существенная разница между вариантами была отмечена после второй подкормки. Максимальное значение биомассы наблюдали на вариантах с одинарными и двойными дозами азофоски и нитроаммофоски S с пониженным содержанием фосфора и калия. Минимальные значения – на вариантах с внесением удобрения Универсал.

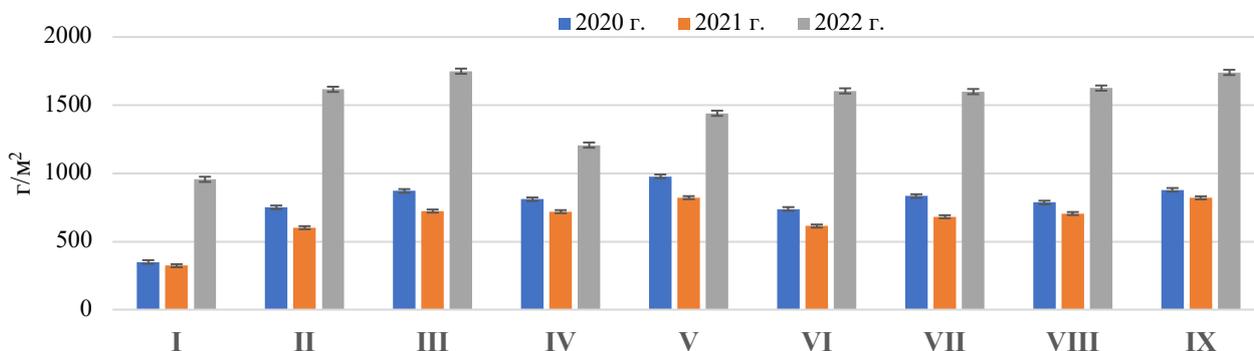


Рисунок 20. Суммарный вес растений при естественной влажности всех укосов за вегетационный период 2020-2022 гг. Варианты опыта: I – Контроль, II – азофоска 1 д., III – азофоска 2 д., IV – нитроаммофоска S 1 д., V – нитроаммофоска S 2 д., VI – Универсал 1 д., VII – Универсал 2 д., VIII – нитроаммофоска 1 д., IX – нитроаммофоска 2 д. Вертикальными линиями на графике отмечено значение НСР_{0,05} (в 2020 г – 13,3, в 2021г. – 11,2, в 2022 г. – 19,0).

В 2021 г. самая высокая величина биомассы (на 31-60 % выше контрольного варианта) отмечена на вариантах с внесением нитроаммофоски и удобрения Универсала с выровненным соотношением NPK. Вероятнее всего, растения на этих вариантах лучше перенесли зимний период. Внесение удобрений с пониженным содержанием фосфора и калия так же обуславливало увеличение биомассы растений (на 20 % по сравнению с контролем). Существенные различия между действием различных комплексных удобрений и их дозами более рельефно проявились в 2022 г.

Самые высокие значения величины биомассы газонных трав отмечены при внесении обеих доз азофоски и нитроаммофоски, то есть удобрений с выровненным соотношением NPK (рис. 20).

Содержание хлорофилла в растениях является показателем качества газонного покрытия. Самые низкие значения содержания суммы хлорофилла а и b за три года исследований наблюдались на контрольном варианте. В 2020 г. на вариантах опыта содержание суммы хлорофиллов максимально при внесении удобрений Универсал и нитроаммофоска S в обеих дозах (рис. 21).

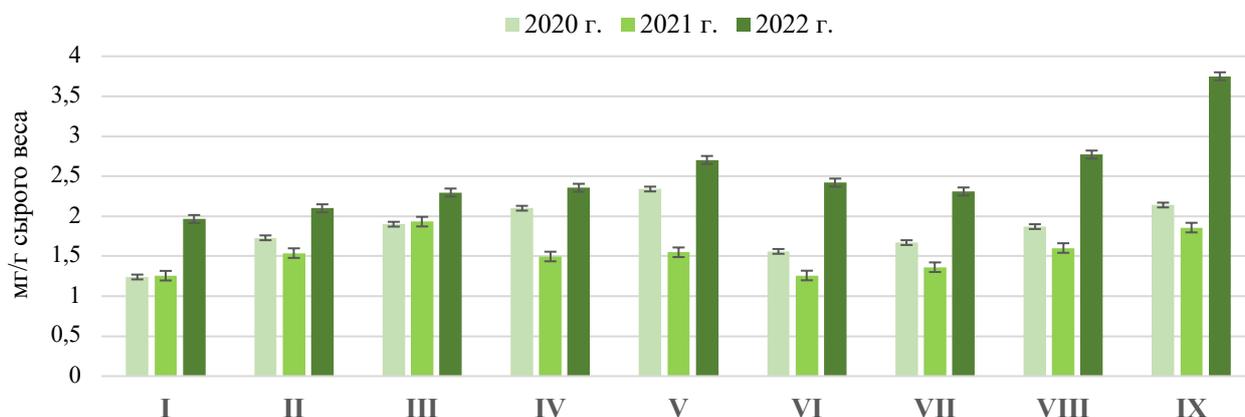


Рисунок 21. Содержание хлорофилла а и b в растениях укоса в июне, мг/г сырого веса. Варианты опыта: I – Контроль, II – азофоска 1 д., III – азофоска 2 д., IV – нитроаммофоска S 1 д., V – нитроаммофоска S 2 д., VI – Универсал 1 д., VII – Универсал 2 д., VIII – нитроаммофоска 1 д., IX – нитроаммофоска 2 д. Вертикальными линиями на графике отмечены стандартные отклонения.

В 2021 г. растения испытывали температурный стресс, что отразилось на содержании фотосинтетических пигментов, к третьему укосу растения находились в более благоприятных условиях, так как выпало достаточное количество осадков. Максимальное содержание суммы хлорофилла отмечалось на вариантах с внесением удобрений нитроаммофоска в обеих дозах и удобрении азофоска в двойной дозе.

В 2022 г. максимальное содержание в растениях хлорофилла a+b отмечено в последнем укосе на вариантах с применением удобрений нитроаммофоски в обеих дозах. На вариантах с внесением остальных комплексных удобрений в двойной дозе содержание хлорофилла a+b было достоверно выше, чем на одинарной дозе. Известно, что фотосинтез напрямую связан с содержанием азота в листьях растений (Sage et al., 1987; Lawlor et al., 2001). Рассчитанный коэффициент корреляции между суммой хлорофилла a+b и содержанием общего азота в последнем укосе трав показал тесную положительную связь и составил: в 2021 г. $r^2 = 0,6409$, в 2022 г. $r^2 = 0,7951$

Внесение комплексных удобрений в 2020-2022 гг. повлияло на повышение декоративных качеств газонных трав, что проявилось в увеличении биомассы и содержании основных фотосинтетических пигментов (рис. 21).

Проективное покрытие газона до проведения опыта в среднем на всех вариантах составляло 75-80 % (табл. 5). За время исследования этот показатель увеличивался на всех вариантах опыта и достиг 100 % к завершению эксперимента (кроме вариантов Контроль и Универсал в 1 и 2 дозах). Проведение регулярных подкормок в течение летнего сезона позволило значительно увеличить плотность травостоя.

Проведенные исследования продемонстрировали, что максимальная биомасса газонных трав образовывалась на вариантах с использованием двух видов нитроаммофоски в дозе 60 кг азота по д.в. и 120 кг азота по д.в. на га.

Таблица 5. Проективное покрытие газонных трав во время проведения опыта, %.

Варианты опыта	2020 г.		2021 г.		2022 г.
	июль	август	май	август	июнь
Контроль	80	80	75	90	90
Азофоска, 1 доза	80	90	80	100	100
Азофоска, 2 дозы	85	95	85	100	100
Нитроаммофоска S, 1 доза	80	95	90	100	100
Нитроаммофоска S, 2 дозы	83	95	90	100	100
Универсал, 1 доза	80	90	85	95	95
Универсал, 2 дозы	82	90	85	95	95
Нитроаммофоска, 1 дозы	85	95	90	100	100
Нитроаммофоска, 2 дозы	85	95	90	100	100

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Влияние применения комплексных минеральных удобрений, традиционных азотных удобрений и удобрений пролонгированного действия проявлялось в увеличении биомассы растений, проективного покрытия газонных трав, содержания хлорофилла и оптимизации азотного питания растений.

Отмечено, что использование капсулированной мочевины пролонгированного действия снимает необходимость проведения регулярных подкормок газонных трав летом. Внесение гранулированной мочевины при закладке новых и при однократном внесении под существующие газоны, может рассматриваться в качестве эффективного приема, обеспечивающего высокое качество газонного покрытия. В засушливое время года капсулированная мочевина может уступать по своей эффективности внесению мочевины в виде раствора. В целом, при высоких температурах технологический прием в виде дробного внесения растворов мочевины был эффективнее дробного внесения гранулированной мочевины, что подтверждается высоким содержанием азота в растениях.

Продемонстрировано, что при создании новых газонов на искусственных почвогрунтах происходило увеличение содержания азота в растениях газонных трав при использовании гранулированной и капсулированной мочевины, что свидетельствовало об оптимизации азотного питания растений. Применение капсулированной мочевины обеспечивало постепенное высвобождение амидного азота из капсул удобрений. Амидный азот, перманентно поступая в почвенный раствор и подвергаясь аммонификации и нитрификации, обеспечивал оптимальное питание растений газонных трав. Полученные результаты по изучению динамики соотношения аммонийного и нитратного азота в почвогрунте продемонстрировали гармоничное протекание процессов нитрификации при использовании капсулированной мочевины и смеси гранулированной и капсулированной мочевины.

На газонах, находящихся в длительной эксплуатации, произрастающих на почвах с высоким содержанием фосфора и калия, отсутствовала необходимость в применении выровненных доз этих элементов. По полученным данным, подкормки должны осуществляться дробно не реже одного раза в месяц, а нормы вносимых удобрений следует корректировать с учетом погодных условий.

ВЫВОДЫ

1. При создании новых газонов на искусственных (насыпных субстратах) в условиях г. Москвы наилучший эффект получен от однократного применения капсулированной мочевины и сочетания этого удобрения с гранулированной мочевиной, что проявилось в увеличении биомассы, проективного покрытия, оптимизации азотного питания растений и содержания в них фотосинтетических пигментов.
2. На старовозрастных газонах, выращиваемых на урбаноземах, максимальная биомасса растений, 100% проективное покрытие и самое высокое содержание фотосинтетических пигментов наблюдалось на варианте с применением двойной дозы по азоту нитроаммофоски.
3. Дробное внесение на поверхность нового газона растворенных минеральных удобрений в дозе 60 кг азота по д.в. уступало по своей эффективности в обеспеченности газонообразующих злаков азотом, фосфором и калием однократному применению капсулированной и смеси капсулированной и гранулированной мочевины в аналогичной дозе.
4. На газоне, растущем на почвах с высоким содержанием фосфора и калия, нет необходимости во внесении одинаковых (выровненных) доз азота, фосфора и калия. Была показана высокая эффективность дробного не реже 1 раза в месяц, внесения комплексных удобрений с невысоким содержанием фосфора и калия.
5. Показано, что для поддержания стабильного режима питания растений старого газона макроэлементами необходимо дробное (в 4 приема) внесение комплексных удобрений, достижение оптимального содержания азота, фосфора и калия отмечается при внесении двойной дозы нитроаммофоски (N120P120K120 кг/га).
6. Динамики выноса питательных макро- и микроэлементов злаками нового газона свидетельствует о необходимости корректировки дозы азотных и калийных удобрений. По мере развития дернины газона количество отчуждаемых питательных элементов возрастает.
7. На старовозрастном газоне на низкой дозе только удобрения Универсал (60 кг/га д.в.НПК) складывается положительный баланс по азоту, фосфору и калию, что связано с низкой величиной биомассы. Для других комплексных удобрений (нитроаммофоска, нитроаммофоска S и азофоска) положительный баланс азота и калия складывается при внесении их в двойной дозе.
8. Ежегодное изучение динамики соотношения аммонийного и нитратного азота в почвогрунте нового газона в почвогрунтах свидетельствует о более гармоничном протекании процесса нитрификации при внесении капсулированной мочевины и смеси капсулированной и гранулированной мочевины, так как не происходило накопление аммиачных форм этого элемента, в отличие от газонов, находящихся в длительной эксплуатации

9. Применение удобрений в виде водных растворов и удобрения, содержащих полный комплекс микроэлементами, не изменяло изученных показателей в почвах, почвогрунтах и в растениях.
10. Вынос питательных макро- и микроэлементов растениями из субстратов газонов в год с благоприятными климатическими условиями был выше, чем количество внесенных удобрений, поэтому, по мере увеличения срока эксплуатации газонного покрытия, дозы вносимых удобрений необходимо корректировать в сторону увеличения до внесения комплексных удобрений в дозе 120 кг/га.

Список публикаций в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных WoS, SCOPUS и RSCI, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ имени М.В. Ломоносова:

1. **Королев П.С.,** Пашкевич Е.Б., Большева Т.Н. Влияние дробного внесения разных доз комплексных удобрений на физиологические показатели растений в длительно эксплуатируемых газонах в г. Москве // Проблемы агрохимии и экологии. – 2022. – № 2. – С. 21-27. – DOI: 10.26178/AE.2022.24.75.006. (**ИФ РИНЦ = 0,308**). Вклад автора в печатных листах: 0,44/0,22 (Здесь и далее в скобках приведен объем публикации в печатных листах и вклад автора в печатных листах).
2. **Королев П.С.,** Пашкевич Е.Б., Большева Т.Н. Влияние стандартных комплексных удобрений, азотных удобрений пролонгированного действия и новых технологических приемов их внесения в почву на рост и развитие газонов в г. Москве // Проблемы агрохимии и экологии. – 2023 – № 2. – С. 29-37. – DOI: 10.26178/AE.2023.34.36.006 (**ИФ РИНЦ = 0,308**) (0,56/0,28)
3. Кулачкова С.А., Деревенец Е.Н., **Королев П.С.,** Пронина В.В. Влияние минеральных удобрений на дыхание почв городских газонов // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2023. – Т. 78, № 3. – С. 103-114. DOI: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-3-103-114 (**ИФ РИНЦ = 0,333**) (1,5/0,38) [Kulachkova, S.A., Derevenets, E.N., Korolev, P.S., Pronina V.V. The effect of mineral fertilizers on soil respiration in urban lawns // Moscow University Soil Science Bulletin. – 2023. – V. 78, № 3. – P. 281–291 – DOI: 10.3103/S0147687423030080]
4. **Королев П.С.** Изучение эффективности применения капсулированной мочевины на газонах города Москвы // Агрохимический вестник. – 2024. – № 2. – С. 80-83. – DOI: 10.24412/1029-2551-2024-2-015 (**ИФ РИНЦ = 0,850**) (0,25/0,25)