

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Валешняя Дарья Владимировна

**Влияние фоллиарной обработки лигносульфонатом
и лигногуматом на физиолого-биохимические показатели
мяты перечной (*Mentha piperita* L.)**

Специальность

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Москва – 2026

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, Федеральный исследовательский центр «Пущинский научный центр биологических исследований Российской академии наук», Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения имени В.А. Ковды РАН, лаборатория почвенных циклов азота и углерода, главный научный сотрудник*

Жаркова Наталья Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, факультет агрохимии, почвоведения, экологии, природообустройства и водопользования, кафедра экологии, природопользования и биологии, профессор

Плеханова Ирина Овакимовна, доктор биологических наук, доцент, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, факультет почвоведения, кафедра земельных ресурсов и оценки почв, ведущий научный сотрудник

Защита диссертации состоится «20» октября 2026 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, Ленинские горы, д.1, стр. 12, биологический факультет, ауд. М-1.

Тел: +7(495)-939-35-46, 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/3978>

Автореферат разослан «02» июля 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук

Н.В. Костина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Значение мяты перечной в ландшафтном органическом дизайне имеет свои преимущества. Её посадки могут использоваться в лечебных газонах и садах органического типа из-за эфиромасличных характеристик, создающих уникальную оздоравливающую экологию и фитосанитарные условия почв в городской среде. Увеличенная экологическая нагрузка загрязнений на растения в городском дизайне требует особого внимания к устойчивости растений к неблагоприятным условиям. Мята обладает высокой отзывчивостью на внесение минеральных удобрений и биостимуляторов, что позволяет регулировать её физиологические и биохимические качества (Кшникаткин, 2021). Одними из защитных соединений от внешних стрессов для растений являются биостимуляторы на основе гуминовых веществ, которые стали популярными за последние два десятка лет (Реестр пестицидов и агрохимикатов..., 2025) и которые влияют на фотосинтез и содержание фенольных соединений в растениях (Ertani, 2011). Среди них все больше внимания уделяют лигногуматам – водорастворимым анионным полимерам, по свойствам близким к гуминовым веществам (Ertani, 2019; Денисова, 2024; Soare, 2024).

Степень разработанности проблемы. Эффективность биостимуляторов на основе гуминовых веществ показана на многих культурах (Бекшенева, 2024; Eyheraguibel, 2008; Chang, 2012). При этом фолиарной обработке мяты этими препаратами больше внимания уделяется в англоязычных исследованиях (Hendawy S.F. et al., 2015; Rostami G. et al., 2019; Baurai R. et al., 2024), где растения выращивают на гидропонике или в вегетационном опыте (Roosta et al., 2016). Несмотря на многочисленные работы по питанию мяты (Мустяцэ, 1985; Морозов, 2012; Barzin, 2024), исследований по действию биостимуляторов с гуминовыми веществами в России крайне мало. Действие гуминовых веществ на физиолого-биохимические показатели мяты остается малоизученным.

Цель и задачи. Цель исследования – изучить влияние различных агрохимических средств (лигногумата, лигносульфоната, микроэлементов,

минеральных удобрений) на физиолого-биохимические показатели мяты перечной.

В задачи исследования входило:

1. Изучить влияние foliarной обработки лигногуматом и лигносульфонатом в разных концентрациях на морфометрические показатели растений при внесении в субстрат макро- и микроэлементов.
2. Оценить эффективность внесения в субстраты основных удобрений и хелатов цинка и меди на содержание макро- и микроэлементов в них и в листьях растений.
3. Оценить изменения в листьях растений активности каталазы и биологически активных веществ, как биохимических факторов устойчивости мяты перечной после foliarной обработки лигногуматом и лигносульфонатом в разных концентрациях.
4. Сравнить эффективность влияния foliarной обработки растений лигногуматом и сырьем для его производства – лигносульфоната в разных концентрациях на изученные физиолого-биохимические показатели.

Научная новизна. Впервые на основании трех однолетних вегетационных опытов и 3-х летнего мелкоделяночного опыта проведено исследование влияния применения минеральных удобрений и foliarной обработки лигногуматом и лигносульфонатом (сырьем для производства лигногумата) на физиолого-биохимические показатели мяты перечной.

Теоретическая и практическая значимость. Совместное применение минеральных удобрений с макро- и микроэлементами и гуминовых биостимуляторов на мяте перечной имеет широкий потенциал для использования на практике (Реут, 2023; Roosta et al., 2016). В исследовании дополнена теоретическая база о механизмах действия гуминовых биостимуляторов (на примере лигногумата и лигносульфоната) при одновременном внесении комплекса минеральных удобрений на рост мяты перечной, содержание питательных элементов и физиолого-биохимические показатели в листьях. Результаты опытов позволяют уточнить научные сведения

о влиянии макроэлементов в удобрениях, хелатных форм цинка и меди, а также лигногумата и лигносульфоната на содержание питательных элементов в почвогрунте, изменения в содержании азота, фосфора, калия, цинка и меди в листьях, на увеличение массы растений и содержание антиоксидантных соединений в листьях мяты перечной, в том числе фотопигментов.

Использование гуминовых биостимуляторов с минеральными удобрениями способствует повышению адаптации к стрессовым нагрузкам и улучшению физиолого-биохимических свойств мяты перечной, в том числе с точки зрения для декоративного выращивания. Изучены и научно обоснованы дозы внесения гуминовых веществ при выращивании растений с полным комплексом удобрений. Полученные данные дают возможность рекомендовать схему применения удобрений для мяты в создании ландшафтных фитокомпозиций и в органическом садоводстве.

Объектом исследования являлись мята перечная (*Mentha piperita* L.), почвогрунт (ГОСТ Р 53381-2009), препарат лигногумат марки АМ (производство ООО НПО «Реализация экологических технологий», г. Санкт-Петербург) и порошок лигносульфонат (производство АО «Соликамскбумпром», г. Соликамск, Пермский край). Предмет исследования: физиолого-биохимические показатели листьев и соцветий мяты перечной, выращенной при применении минеральных удобрений, а также фолиарной обработки лигногуматом и лигносульфонатом.

Методология и методы исследования. Диссертационная работа основана на трёх ежегодных однолетних вегетационных опытах и одном 3-летнем мелкоделяночном опыте. Все опыты были проведены на территории МГУ им. М.В. Ломоносова в 2022-2024 гг. Химико-аналитические методы анализа растений и почвогрунта соответствовали общепринятым методикам. Полученные данные статистически обрабатывали в программе «Microsoft Excel 2011» и «STATISTICA 10».

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Ежегодное внесение полного комплекса минеральных удобрений (N60P60K120), цинка в количестве 1ПДК и меди в количестве 0,5ПДК в

субстраты с одновременной фолиарной обработкой растений лигногуматом (Лг) либо лигносульфонатом (Лс) с концентрацией 0,01% или 0,05% увеличивает надземную массу, сумму хлорофиллов в мяте перечной, уменьшает содержание общей золы, каротиноидов, фенольных соединений и активность каталазы, то есть влияет на физиолого-биохимические показатели устойчивости растений;

2. Отсутствуют существенные различия в действии фолиарной обработки Лг или сырьем для его производства Лс на физиолого-биохимические показатели растений мяты перечной.

Степень достоверности и апробация результатов. Степень достоверности обусловлена двумя типами опытов (мелкоделяночным и вегетационными), которые были проведены на протяжении трех лет с трехкратной повторяемостью вариантов. Опыты были основаны на общепринятых методиках. Все физиолого-биохимические и агрохимические анализы проводили в 2-3 кратной повторности на современном оборудовании. Результаты исследования обрабатывали с использованием методов статистической обработки.

Результаты исследований были представлены к обсуждению на Всероссийских и Международных научных и научно-практических конференциях: VI Международная научная конференция «Эволюция и деградация почвенного покрова», Ставрополь, 19-22 сентября 2022 г.; Всероссийская научно-практическая конференция «Современные проблемы биологии, химии, экологии», Ярославль, 17-21 октября 2023 г.; Всероссийская научная конференция «Агрохимическая наука – синтез академических знаний и практического опыта», Москва, 12-13 сентября 2023 г.

Личный вклад автора. Автор непосредственно организовал полевые и вегетационные опыты, выполнил все химико-аналитические исследования, подготовил обзор литературы, а также текст, таблицы и графики для публикации. Автор самостоятельно провел анализ полученных результатов, для

которых была выполнена статистическая обработка и интерпретация. Вклад автора в опубликованных работах является определяющим.

Публикации. По материалам диссертационной работы были опубликованы 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, 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 сокращений и условных обозначений, списка литературы и 28 приложений, изложенных на 127 страницах. Диссертационная работа содержит 16 таблиц, 16 рисунков и список литературы, который состоит из 133 наименований, из которых 48 на английском языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. История выращивания, агротехники и физиолого-биохимическая характеристика мяты перечной и действие на растение гуминовых препаратов. Обзор литературы. В первой главе приведен обзор литературы, в котором подробно рассмотрены вопросы по истории выращивания, особенностей агротехники для этой культуры. Описано видовое разнообразия этого рода растений, применение как листа, так и эфирного масла. Отдельно рассмотрены гуминовые препараты, которые применяются в сельском хозяйстве на разных культурах, в том числе при выращивании мяты.

Глава 2. Объекты и методы. Для 3-х летнего (2022-2024 гг.) исследования на территории МГУ имени М.В. Ломоносова были заложены многолетний мелкоделяночный (опыт 1) и ежегодно повторяемые вегетационные опыты (опыт 2). Основная задача вегетационного опыта – определение веса подземной массы растений.

В исследовании применяли препарат лигногумат марки АМ (производство ООО НПО «Реализация экологических технологий», Санкт-Петербург) и порошок лигносульфонат (производство АО «Соликамскбумпром», г. Соликамск, Пермский край). Данный лигногумат был

произведен из применяемого в опыте лигносульфоната, отхода целлюлозно-бумажной промышленности, в форме порошка. Элементный состав лигногумата на сухое вещество в мг/кг: фосфор – 451,2; калий – 89634,0; бор – 908,4; железо – 59,8; кальций – 1765,7; медь – 710,3; цинк – 678,4. Элементный состав лигносульфоната на сухое вещество в мг/кг: фосфор – 650,0; калий – 21350,0; цинк – 19,98, медь – 2,02; марганец – 179,64; железо – 35,80; кальций – 2277,62; бор – 3,55; кобальт – 0,12; хром – 0,45.

Схема для мелкоделяночного и вегетационных опытов была одинаковой и состояла из 10 вариантов в трех повторностях: 1. Контроль (без удобрений). 2. Внесение в субстрат азотных, фосфорных, калийных удобрений (NPK) и хелатов цинка и меди (NPK+МЭ). 3. Внесение в субстрат NPK и фолиарная обработка растений лигногуматом (Лг) в концентрации 0,01% (Лг1+NPK). 4. Внесение в субстрат NPK, хелатов меди (Cu) и цинка (Zn) и фолиарная обработка растений Лг в концентрации 0,01% (Лг1+NPK+МЭ). 5. Внесение в субстрат NPK и фолиарная обработка Лг в концентрации 0,05% (Лг2+NPK). 6. Внесение в субстрат NPK, хелатов Cu и Zn и фолиарная обработка растений Лг в концентрации 0,05% (Лг2+NPK+МЭ). 7. Внесение в субстрат NPK и фолиарная обработка растений лигносульфонатом (Лс) в концентрации 0,01% (Лс1+NPK). 8. Внесение в субстрат NPK, хелатов Cu и Zn и фолиарная обработка растений Лс в концентрации 0,01% (Лс1+NPK+МЭ). 9. Внесение в субстрат NPK и фолиарная обработка растений Лс в концентрации 0,05% (Лс2+NPK). 10. Внесение в субстрат NPK, хелатов Cu и Zn и фолиарная обработка растений Лс в концентрации 0,05% (Лс2+NPK+МЭ).

Минеральные удобрения: аммиачная селитра, простой суперфосфат и сульфат калия вносили в дозах N60P60K120 согласно рекомендациям Л.В. Кухаревой, 1989 г. Оптимум содержания микроэлементов в мяте не установлен, поэтому дозы внесения подвижных форм Cu и Zn были взяты из исследования В.В. Сухоцкой, 2020 г. – 1 ПДК для Cu (9,4 по д.в. кг/га) и 0,5 ПДК для Zn (21,4 по д.в. кг/га).

Фолиарную обработку растений Лг и Лс в виде водных растворов в дозах 0,01 % и 0,05 % проводили до полного смачивания листовой пластины дважды с интервалом в 10 дней в фазе образования подземных побегов (корневищ) и ветвления в последнюю декаду августа и первую декаду сентября в 2022 г. и в первые две декады июня в 2023-2024 гг.

2.1. Опыт 1. Изменение физиолого-биохимических показателей мяты перечной при внесении удобрений в почвогрунт и фолиарной обработке лигногуматом и лигносульфонатом растений в мелкоделяночном опыте. Площадка для опыта была расположена около почвенного стационара МГУ им. М.В. Ломоносова, где рандомизированно разбили делянки площадью 0,25 м² (Туликов, 2005).

Черенки растений длиной 10-12 см, нарезанные на опытном поле ФГБНУ Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии (ВНИИФ) и укорененные в Zip-пакетах с торфом, были высажены в начале августа 2022 г. на подготовленную площадку, где была произведена замена старого почвогрунта на новый на глубину 20 см. На одну делянку высаживали по 4 растения. Смесовой грунт по ГОСТ Р 53381-2009, состоял: торф, песок, суглинок, плодородный грунт в процентном соотношении (по объему) 20:10:10:60 и имел следующие показатели: рН_{KCl} - 7,4, нитратный азот – 15,7 мг/кг, аммонийный азот – 46,0 мг/кг, подвижный фосфор – 542,0 мг/кг, подвижный калий – 300,0 мг/кг, в вытяжке ААБ: цинк – 37,3 мг/кг; медь – 10,7 мг/кг, свинец – 17,0 мг/кг.

2.2. Опыт 2. Изменение морфометрических показателей мяты перечной при внесении удобрений в торф и фолиарной обработке лигногуматом и лигносульфонатом растений в условиях вегетационного опыта. Опыт проводили в вегетационном домике факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, время закладки и срезки надземной биомассы совпадал с опытом 1. Субстрат - торф «Агробалт» раскисленный с рН_{H2O} 5,5-6,6. Объем сосудов - 3,5 л. Полив проводили по мере необходимости до 75–80 % ППВ, в сосуде выращивали одно растение, высаживая укорененные черенки

как в Опыте 1, с идентичными дозами минеральных удобрений. Опыт закладывали ежегодно.

2.3. Методы исследования растений и почвогрунта. Надземную массу в Опытах 1 и 2 измеряли в день уборки. Время уборки определяли началом цветения растений, когда распускались 50-75% цветов (ГОСТ Р 53593-2009; Кириченко, 2008). Растения в Опыте 1 срезали на уровне 10-12 см от поверхности почвы (ГОСТ 31791-2017). Определение подземной массы в Опыте 2 проводили в течение 3 дней после срезки надземной массы, корни и корневища отряхивали от комков торфа и промывали на сите под слабой проточной водой, промокали фильтровальной бумагой и взвешивали, затем высушивали для измерения сухой массы. Количество и свежую массу соцветий считали в день срезки, затем проводили фиксацию и сушку. Свежесрезанные части растений раскладывали на фильтровальную бумагу и фиксировали в день уборки по общепринятой методике 10 мин. при температуре 90 °С (Минеев, 2001). Площадь листа с 3 узла измеряли с помощью приложения «Petiole» за 10-14 дней до срезки растений (Руководство по проведению регистрационных испытаний..., 2016). Фотопигменты в листьях (3 пара листьев с верхушки стебля, срезанные за 2 недели до уборки опыта) определяли фотометрически (фотометр КФК-3-01 «ЗОМЗ», Россия) после экстрагирования их 100% ацетоном (Третьяков и др., 1990). Суммарное содержание фенольных соединений определяли фотометрически в спиртовой вытяжке с реактивом Фолина-Чокальтеу и пересчетом на галловую кислоту (Николаева и др., 2021). Содержание нитратов в сухом веществе - ионометрически на иономере «Эксперт-001» (Россия) (ГОСТ 13496.19-93). Содержание цинка, меди, свинца в растениях - после сухого озоления атомно-абсорбционным методом на приборе ААС-3 фирмы «Hitachi», Япония (Минеев, 2001; ОФС 1.5.3.0009). Общую золу в листьях – весовым методом согласно фармакопейной статье ОФС 1.2.2.2.0013. Активность каталазы - титрованием перманганатом калия (Практикум по биохимии растений, 1968). Содержание макроэлементов в листьях растений определяли после мокрого озоления по Гинзбург в конц. серной кислоте с

использованием хлорной кислоты в качестве катализатора: азота – методом Кьельдаля, фосфор – фотометрически с окрашиванием по Дениже, калий – на пламенном фотометре «LEKI FP640», Финляндия (Минеев, 2001).

Смешанные образцы почвогрунта по вариантам в Опыте 1 отбирали с глубины 5-15 см и определяли подвижные формы фосфора и калия из вытяжки Кирсанова: фосфора – фотометрически с окрашиванием по Дениже, калия - на пламенном фотометре; подвижные формы цинка, меди и свинца из ацетатно-аммонийного буфера с pH-4.8 атомно-абсорбционным методом, pH_{KCl} – ионометрически, аммонийный азот – фотометрически, нитратный азот - методом Грандваль-Ляжу (Минеев, 2001).

Погодные условия в 2022-2024 гг. оценивали по данным Метеорологической обсерваторией МГУ (МОМГУ). На их основании были рассчитаны гидротермические коэффициенты (ГТК) Селянинова на время исследования растений. Среднее значение ГТК за вегетационный период составил: в 2022 г. – 0,56 (очень засушливо), в 2023 г. – 1,85 (избыточное увлажнение), в 2024 г. – 1,54 (достаточное увлажнение).

Для статистической обработки результатов и их графического представления использовали программы «Microsoft Excel 2011» и «STATISTICA 10». В работе использовали однофакторный дисперсионный анализ (ОДА) и двухфакторный дисперсионный анализ (ДДА) с дальнейшим нахождением наименьшей существенной разницы с уровнем значимости 0,1. Для ДДА использовались в качестве факторов фолиарная обработка (фактор А) и корневое внесение удобрений (фактор Б), а также их взаимодействие (А*Б) Для корреляционного анализа между данными использовали коэффициент корреляции Пирсона, расчеты были сделаны в программе «Microsoft Excel 2011». Коэффициент накопления элементов был рассчитан по содержанию элементов в листьях и содержанию элементов в почвогрунте (Уткин, 2008). Вертикальными линиями на графиках отмечено стандартное отклонение по вариантам.

Глава 3. Результаты и их обсуждения

3.1. Опыт 1 (мелкоделяночный). Самый низкий вес массы отмечен в первый год исследования (табл. 1), что связано с низкими среднесуточными температурами (ниже 10 °С) длительное время (28 суток за вегетационный период), при такой температуре мята замедляет свой рост (Кириченко, 2008) и еще слаборазвитой корневой системой растений. При этом коэффициент корреляции между площадью листа и сырой массой растений была очень сильной в 2022 г. ($r=0.82$), в отличие от 2023 и 2024 гг., где она была очень слабой или отсутствовала ($r=0.24$, $r=0,01$, соответственно).

ОДА показал, что есть 3 варианта, у которых средние значения достоверно отличались от контроля на протяжении трех лет по весу сырой массы: 1) Лг2+NPK+МЭ; 2) Лс1+NPK+МЭ; 3) Лс2 +NPK+МЭ. Однако, они не имели между собой значимых различий за 3 года исследований. Значимая разница между средними вариантов есть на разном минеральном питании. Сухая масса коррелирует с сырой массой с коэффициентом корреляции: в 2022 г. $r=0.95$, в 2023 г. и 2024 г. $r=0,99$ (табл. 1).

Отмечена высокая положительная корреляция между количеством соцветий и сырой массой мяты перечной, $r=0,96$ как в 2023, так и в 2024 гг. Наименьшее количество соцветий за 2 года было на Контроле. Внесение цинка и меди с обработкой растений Лг или Лс увеличивало этот показатель в 2023 г. 4,2-7,3 раз, в 2024 г. в 1,8-2,9 раз относительно контроля (рис. 1).

При оценке свежей массы соцветий прослеживается тренд: на вариантах с внесением в почвогрунт NPK+МЭ число соцветий больше в 1,3-2,2 раза, чем на других вариантах без внесения цинка и меди. Фолиарная обработка Лг и Лс с концентрацией 0,01% дала более высокие значения на вариантах с полным минеральным питанием и внесением цинка и меди. Прибавка к контролю составила +272% с Лг1 и +176% с Лс1. Концентрация 0,05% показала наибольшие значения в вариантах без применения цинка и меди, прибавка к контролю составила +102% с Лг2 и +123% с Лс2 (рис.1).

Таблица 1. Вес сырой и сухой массы мяты перечной, ц/га. Дисперсии выборок однородны

Вариант	Сырая масса			Сухая масса		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	1,8	75,3	142,7	0,4	6,5	13,5
НРК + МЭ	3,7	214,7	265,3	0,8	19,4	27,2
Лг1 + НРК	2,5	220,7	254,0	0,8	19,9	25,1
Лг1 + НРК + МЭ	4,1	198,0	336,1	1,0	18,5	33,9
Лг2 + НРК	1,1	138,7	268,0	0,2	12,5	26,5
Лг2 + НРК + МЭ	4,2	250,7	269,3	1,0	23,6	26,2
Лс1 + НРК	3,6	142,7	212,0	0,8	13,4	21,3
Лс1 + НРК + МЭ	5,0	182,7	296,0	1,0	15,7	29,9
Лс2 + НРК	2,1	125,3	252,7	0,4	11,9	26,0
Лс2 + НРК + МЭ	5,1	226,7	226,0	1,1	22,2	21,4
НСР_{0,10}	2,4	88,4	76,9	0,5	7,4	7,2
F	2,00	2,32	2,68	1,91	3,04	3,49

Азот в листьях варьировал от максимального значения 3,33% в 2022 г. до 1,36% в 2024 г. Минимальное содержание азота по сравнению с другими вариантами чаще отмечено на вариантах с обработками Лг2. В первый год вегетации на варианте Контроль было минимальное содержание фосфора в листьях 0,68%, а на второй и третий года произрастания отмечены максимальные значения в сравнении с другими вариантами опыта (0,83% в 2023 г. и 0,52% в 2024 г.). Содержание калия в листьях было ниже во второй год и в третий год вегетации 0,8-1,0%, чем в первый год произрастания 1,3-1,7% (рис. 2). По литературным данным содержание азота, фосфора и калия в листьях зависит от видовых и сортовых особенностей мяты и может варьировать для мяты перечной в пределах 1,3-3,5% для азота, 0,4-1,0% для фосфора и 0,8-2,0% для калия

(Мустьяцэ, 1986, Босак, 2023). По литературным данным, содержание калия находится на постоянном уровне в листьях растений.

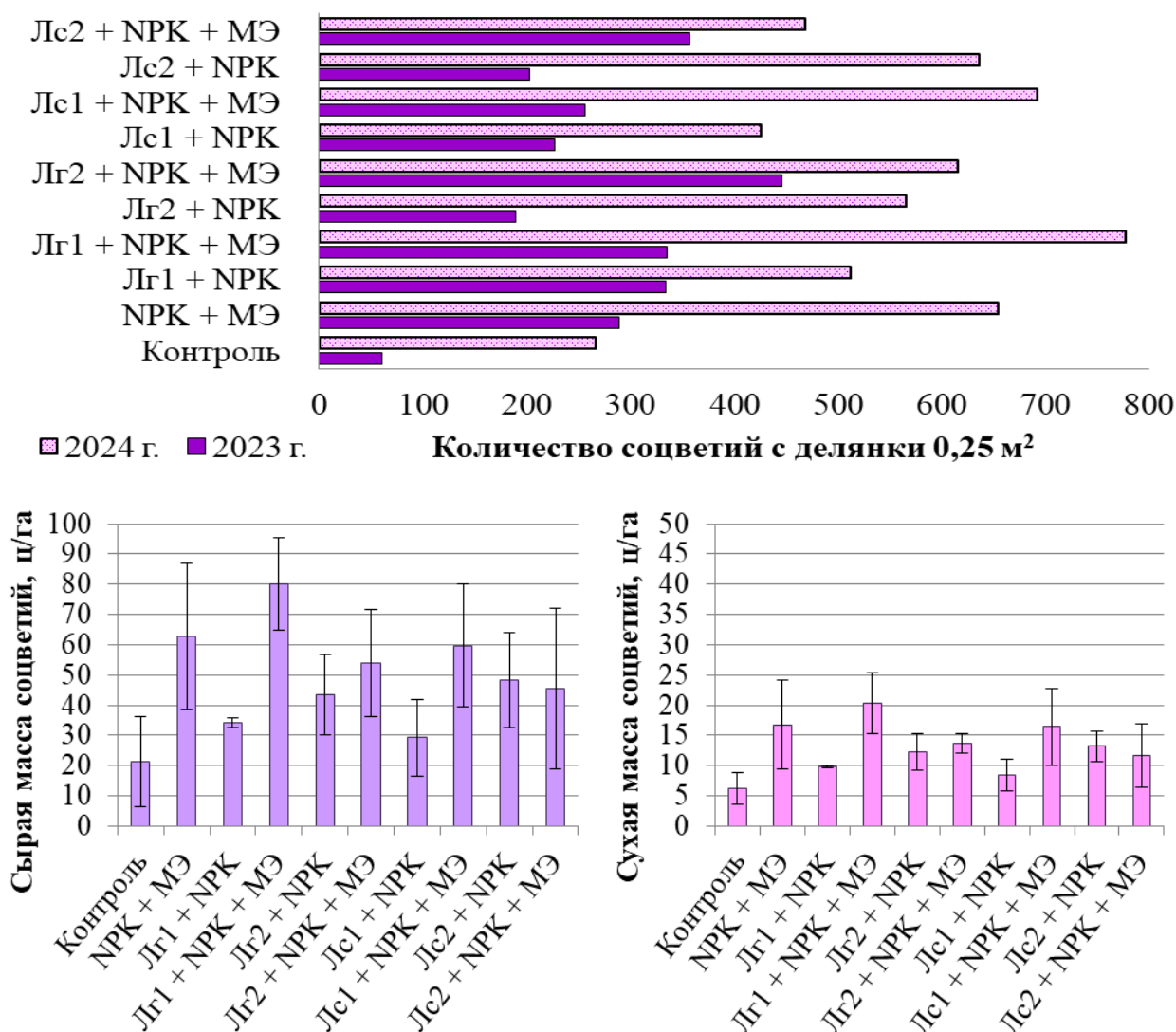


Рисунок 1. Количество соцветий мяты перечной с площади делянки, шт./0,25 м² и сырая и сухая масса соцветий у мяты перечной при срезке растений после завершения мелкоделяночного опыта в 2024 г., г/га. Для количества соцветий ОДА за 2023 г.: НСР_{0,1}=150,0; F=3,4; ОДА за 2024 г.: НСР_{0,1}=193,8; F=3,85. ДДА при α=0,1: 1) сырая масса соцветий F_A=0.5, p_A=0.76; F_B=8.5, p_B=0.00; F_{AB}=2.3, p_{AB}=0.11; 2) сухая масса соцветий F_A=0.4, p_A=0.77; F_B=8.2, p_B=0.00; F_{AB}=2.6, p_{AB}=0.08.

Цинк в листьях растений на 2-й год вегетации имеет тренд к снижению его содержания за исключением вариантов: Контроль, NPK+МЭ и

Лс2+NPK+МЭ. На 3-й год вегетации количество цинка снижается или находится на том же уровне относительно предыдущего года. Содержание меди снижается практически на протяжении трех лет исследования (рис. 3). Так как цинковые и медные удобрения вносили ежегодно, а содержание цинка и меди в листьях снижалось год от года, то причинами могут быть 1) накопление микроэлементов в корневиках молодых растений, 2) ростовое разбавление. 3) климатические условия. Такая же тенденция отмечена в вегетационном опыте по сырой массе растений (рис. 8) и содержанию цинка и меди в листьях мяты (рис.10).

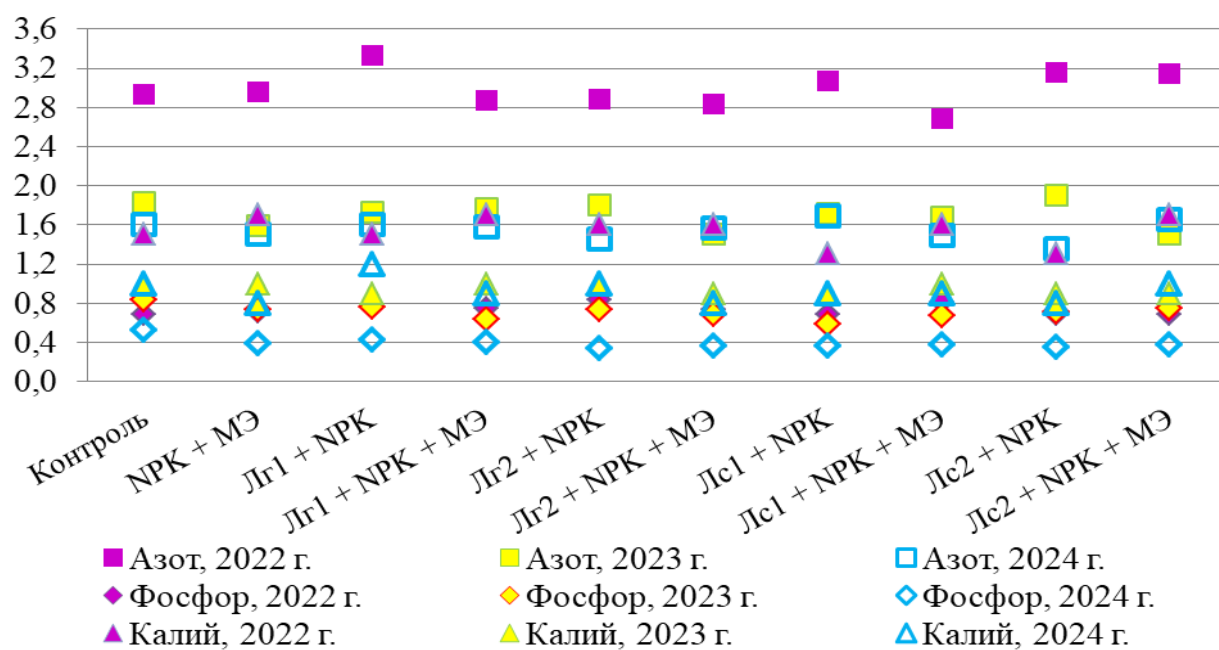


Рисунок 2. Содержание азота, фосфора и калия в листьях мяты перечной, % сухой массы.

Содержание свинца в листьях растений снижалось на второй год на 0,2-8,5 мг/кг (рис. 3). Свинец – тяжелый металл и его содержание строго регламентируется, ПДК равняется 6,0 мг/кг (ОФС 1.5.3.0009). В 2023 г. в 4 вариантах из 10 имеют значения ниже ПДК. В 2024 г. содержание свинца было ниже чувствительности прибора для атомно-абсорбционного анализа (>0,05 мг/кг).

Общая зола в листьях является показателем качества мяты перечной по ОФС 1.2.2.2.0013 и не должна превышать 14%. В 2022 гг. она выше 14% во всех

вариантах, а в 2024 г. она становится ниже 14%. В 2023 г. есть превышения по этому показателю на вариантах Контроль и Лс2+НРК+МЭ. За три года в листьях растений Контроля был наибольший процент общей золы (рис. 4).

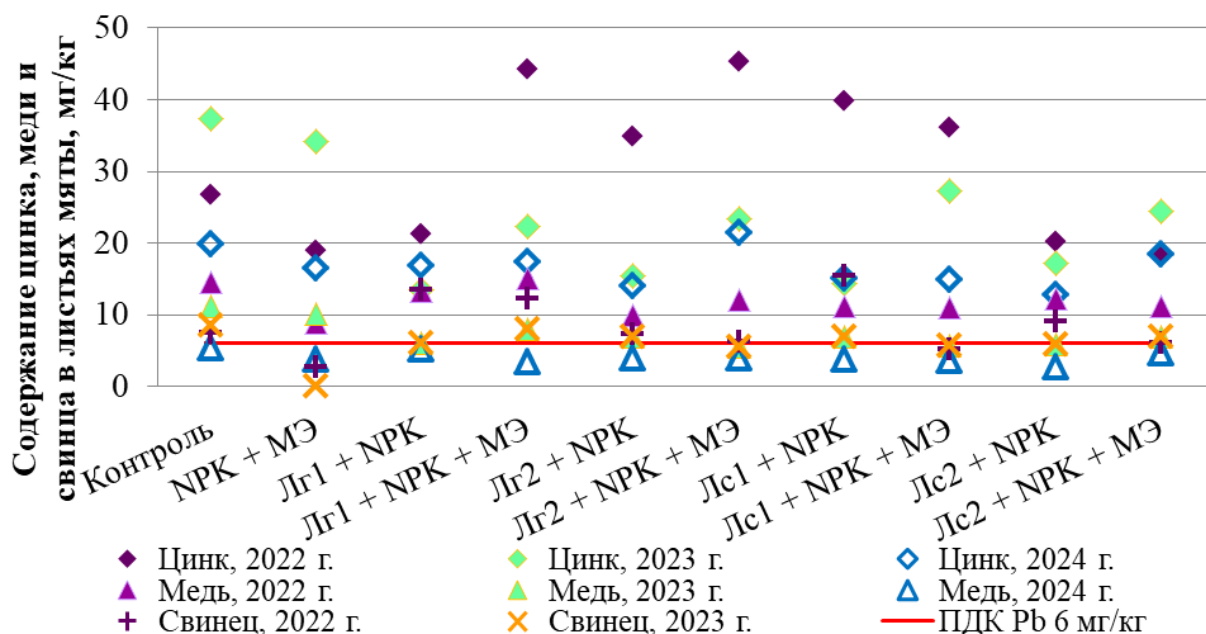


Рисунок 3. Содержание цинка, меди и свинца в листьях мяты перечной в мелкоделяночном опыте, мг/кг сухого веса.

Самое высокое значение суммы фенольных соединений (ФС) в листьях было в 2023 г. на варианте Контроль, самое низкое – в 2022 г. В 2024 г. эти показатели были ниже или значимо не различались с 2023 г.

Максимальные значения суммы ФС, отмечены на трех вариантах: 1) Лг1+НРК+МЭ, 2) НРК+МЭ, 3) Контроль. Высокие показатели суммы ФС могут свидетельствовать: а) о присутствии стресс-фактора для растений (Соловьева, 2019); б) разнице в фазах развития растений (Кириченко, 2008; Маланкина, 2018) или накоплении в растениях эфирных масел. В 2023 г. на вариантах с обработкой одинаковой концентрацией и разным минеральным питанием сумма ФС больше при внесении цинка и меди в почвогрунт, в 2024 г. такой тенденции не отмечено (рис. 5).

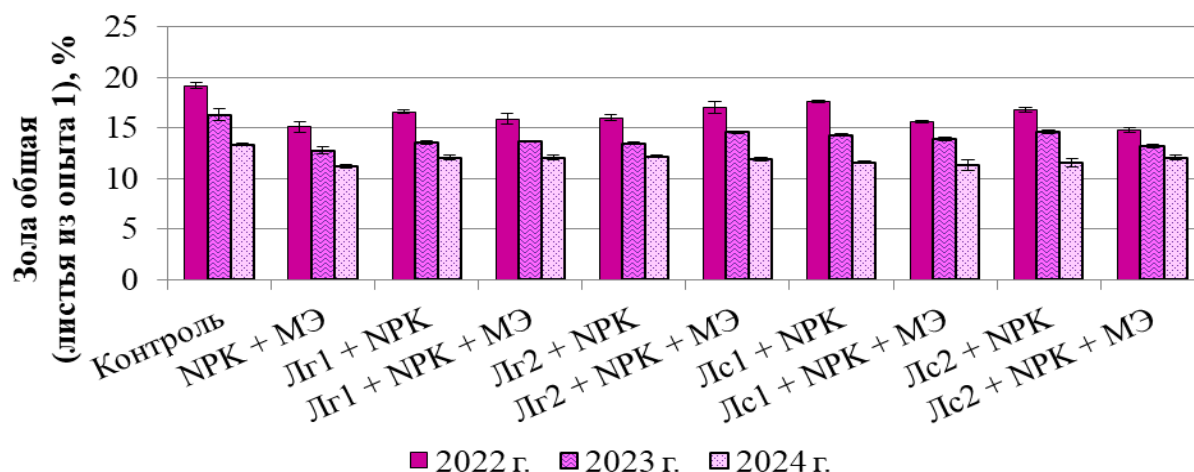


Рисунок 4. Содержание общей золы в сухих листьях мяты перечной, мелкоделяночный опыт, %.

Фотопигменты могут служить показателем стрессоустойчивости растений (Синеговская, 2022). Сумма хлорофиллов выше на вариантах с применением Лг и Лс на 13-138% по сравнению с Контролем. В 2023 и 2024 гг. исследования эффективность Лг и Лс в повышении содержания хлорофилла снижается (рис. 6).

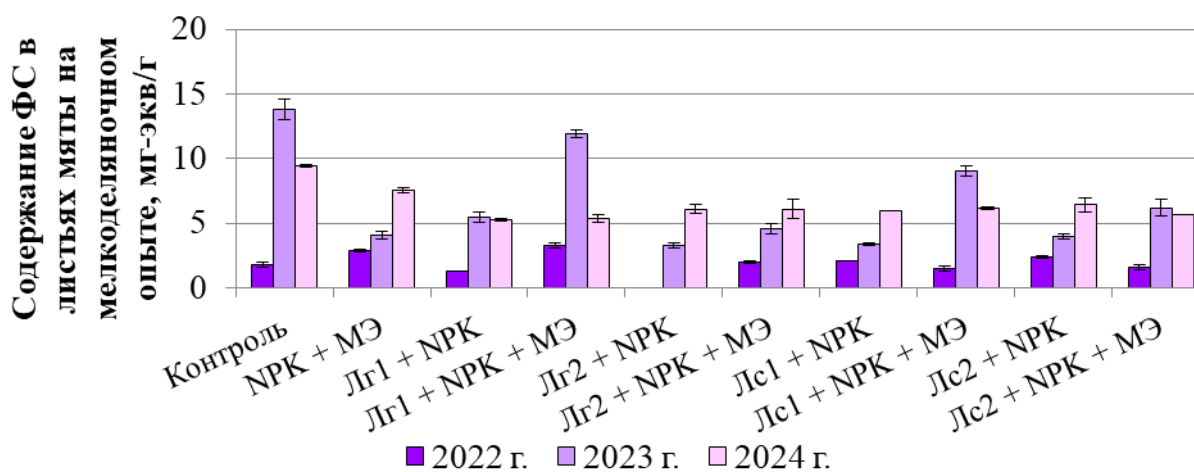


Рисунок 5. Суммарное содержание фенольных соединений в сухих листьях мяты перечной, мг-экв по галловой кислоте /г сухой массы.

Содержание каротиноидов было минимальным в 2022 г. на Контроле, в 2023 г. на варианте Лс2+NPK и на варианте Лс2+NPK+МЭ в 2024 г. Максимальное содержание каротиноидов в 2022 и 2023 гг. было на варианте NPK+МЭ, а в 2024 г. на варианте Лг1+NPK. В 2023 г. содержание каротиноидов увеличилось на Контроле (в 1,7 раз) и на варианте Лс2+NPK (в 1,2 раза). На

вариантах Лг1+НРК и Лс2+НРК этот показатель увеличился в 1,7 и 1,8 раза, соответственно. Из всех вариантов в 2024 г. меньше остальных изменилось содержание каротиноидов на контрольном варианте и на варианте Лг2+НРК+МЭ. Фолиарные обработки растений Лг и Лс понижали содержание каротиноидов, благоприятно действуя на антиоксидантную систему растений (Романцова, 2021; Синеговская, 2022) (рис.6).

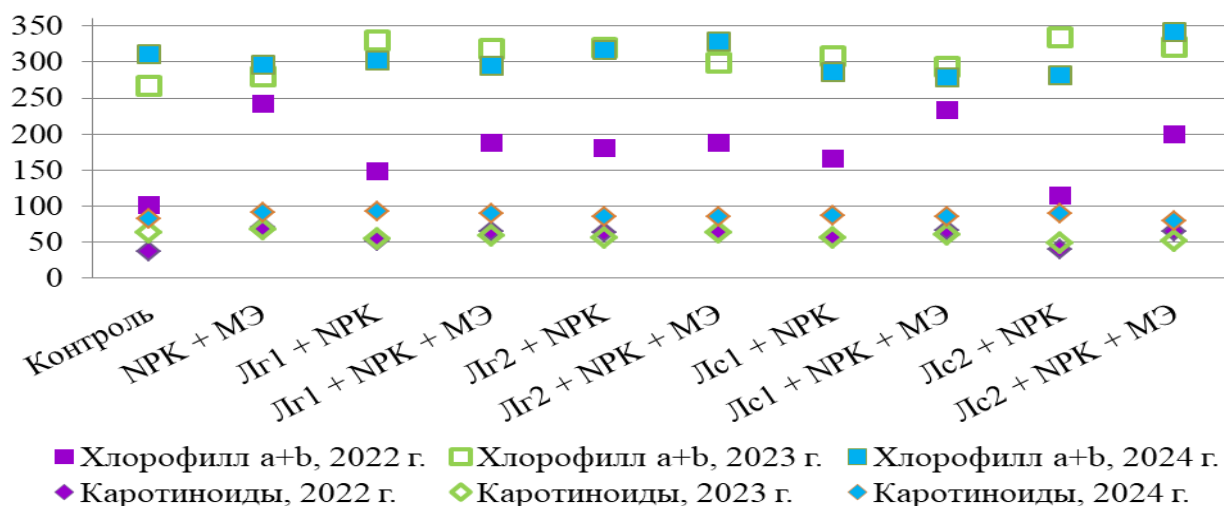


Рисунок 6. Содержание фотопигментов в листьях мяты перечной в мелкоделяночном опыте, мг/100 г сырой массы.

Активность каталазы была выше в 2023 г., чем в 2024 г., что, вероятно, связано с изменением подвижности цинка и меди в почвогрунте в 2024 г. Самая низкая активность этого фермента отмечена на вариантах Контроль в 2023 г. и Лс1+НРК+МЭ, Лс2 + НРК+МЭ в 2024 г. (рис. 7). На примере Контроля можно отследить падение активности фермента в зависимости от содержания цинка и меди в почвогрунте: в 2023 г. содержание подвижного цинка было около 1 ПДК, а содержание подвижной меди было около 2 ПДК, а в 2024 г. содержание подвижного цинка составило 1,5 ПДК, а содержание подвижной меди составило 5 ПДК.

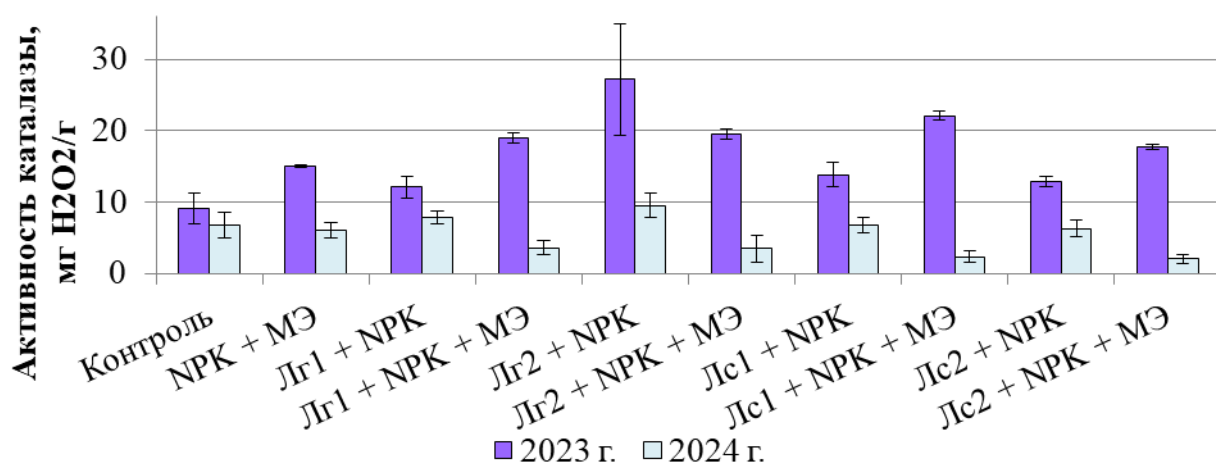


Рисунок 7. Активность каталазы в мг H₂O₂, разложившейся за время инкубации на 1 г свежих листьев мяты перечной. ДДА при α=0,1: 1) данные за 2023 г. F_A=7.0, p_A=0.01; F_B=4.9, p_B=0.03; F_{AB}=7.3, p_{AB}=0.01; 2) данные за 2024 г. F_A=4.4, p_A=0.03; F_B=27.5, p_B=0.00; F_{AB}=0.4, p_{AB}=0.73.

Изменение содержания подвижного фосфора и калия в почвогрунтах имеют один тренд. В 2022 г. содержание этих элементов падало, по сравнению с их содержанием до начала опыта, в 2023 г. – возрастает, в 2024 г. – незначительно падает или остается таким же. Одним из самых высоко обеспеченных подвижным фосфором и калием вариант опыта оказался Лг1+NPK+МЭ: фосфор: 253,8 мг/кг (2022 г.), 425,1 мг/кг (2023 г.), 344,8 мг/кг (2024 г.); калий: 186,9 мг/кг (2022 г.), 329,0 мг/кг (2023 г.), 261,1 мг/кг (2024 г.). Корневое внесение макроэлементов и микроэлементов вместе с фолиарными обработками оказывали значимое воздействие на подвижные соединения фосфора в течение трех лет исследования (табл. 2).

Исходный почвогрунт содержал очень высокое количество подвижного свинца (превышение ПДК (6 мг/кг) более чем в 3 раза). Самое большое влияние на подвижность свинца оказало совместное применение фолиарной обработки и корневое внесение удобрений (табл. 2). Содержание подвижного цинка в почвогрунте при трехлетнем возделывании мяты увеличилось в конце опыта в 1,6-2,1 раза в вариантах с внесением хелата цинка. На протяжении исследования, значения подвижного цинка не опускалось ниже ПДК (23 мг/кг). Содержание подвижной меди характеризуется общим снижением в 2023 г. на

26,2 %. В 2024 г. отмечено увеличение подвижности меди, с превышением ПДК (3 мг/кг) до 5 раз. В 2023-2024 гг. исследования возрастает роль foliarных обработок и внесение удобрений с макро- и микроэлементами на подвижность меди и цинка (табл. 2).

Таблица 2. Достоверность влияния foliarной обработки и внесения удобрений в почвогрунт их взаимодействия на его агрохимические показатели почвогрунта (подвижные соединения) в конце вегетации растений (ДДА). Красным выделена статистическая значимость меньше $\alpha=0,1$

Фактор	P ₂ O ₅		K ₂ O		Pb		Zn		Cu	
	2022 г.									
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Фактор А	1,3	0,34	4,2	0,03	2,6	0,10	1,6	0,25	0,9	0,52
Фактор Б	71,5	0,00	4,0	0,05	4,5	0,04	3,5	0,07	3,2	0,09
А*Б	6,0	0,01	2,2	0,15	6,6	0,01	0,5	0,66	1,2	0,36
2023 г.										
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Фактор А	104,4	0,00	11,2	0,00	2,0	0,16	0,6	0,66	2,2	0,14
Фактор Б	221,8	0,00	18,0	0,00	1,2	0,33	10,3	0,00	18,1	0,00
А*Б	52,9	0,00	0,6	0,60	0,4	0,74	2,2	0,15	5,0	0,02
2024 г.										
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Фактор А	9,2	0,00	20,4	0,00	7,2	0,01	13,1	0,00	9,4	0,00
Фактор Б	40,6	0,00	340,2	0,00	0,6	0,55	195,3	0,00	4,3	0,04
А*Б	4,3	0,03	31,2	0,00	17,3	0,00	11,8	0,00	5,9	0,01

3.2. Опыт 2 (вегетационный). Вес надземной массы увеличивался с каждым годом исследования, в 1,4-4,2 раза 2023 г. и до 1,6 раза в 2024 г., по сравнению с 2023 г. Коэффициент корреляции между сырой и сухой массой составил: $r=0,94$, $r=0,89$, $r=0,98$ в 2022-2024 гг., соответственно. Расчет коэффициента корреляции между сырым весом растений и площадью листа показал умеренную связь между этими показателями ($r=0.44-0.51$) в трех повторениях вегетационного опыта 2022-2024 гг. Надземная масса в 2022 и 2023 гг. имеет две пары с достоверным различием между средними: 1) Лс1+NPK и Лс1+NPK+МЭ; 2) Лс1+NPK+МЭ и Лс2+NPK (рис. 8).

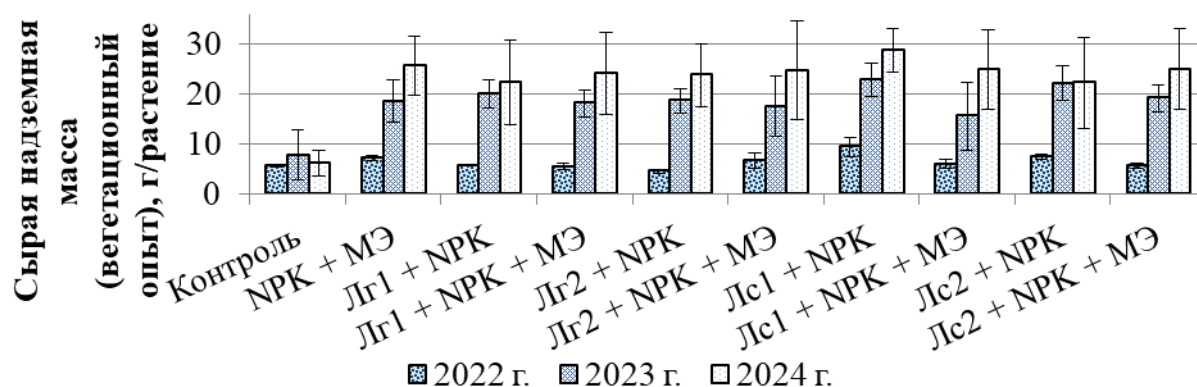


Рисунок 8. Сырая надземная масса мяты перечной после уборки вегетационных опытов, г/растение. НСР_{0,1} по ОДА для каждого года исследования: 2022 г. – 1,3; 2023 г. – 5,9; 2024 г. – 10,39.

Согласно ОДА есть три варианта, которые достоверно отличались с контролем на протяжении трех лет: НПК+МЭ, Лс1+ NPK и Лс2+ NPK, и есть достоверные различия между парами: 1) НПК+МЭ и Лс1+NPK; 2) Лс1+NPK и Лс2+ NPK (рис. 8).

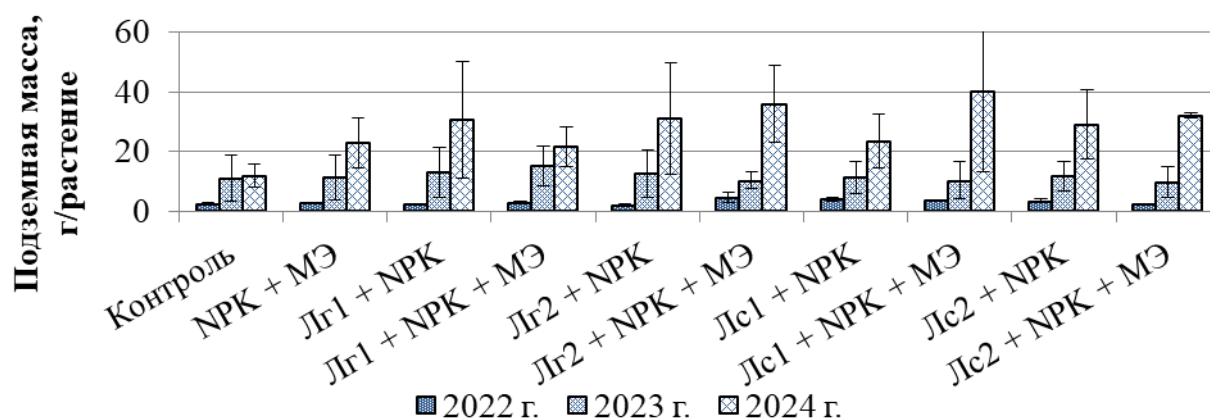


Рисунок 9. Сырая подземная масса мяты перечной, г/растение.

В 2022 г. наименьшую подземную сырую массу имел вариант Лг2+NPK, в 2023 г. - Лс2+ NPK+МЭ и в 2024 г. - Контроль. Наибольшая масса за весь период исследования отмечена при внесении в торф минеральных удобрений и МЭ. Также есть отличия на фоне НПК+МЭ применения разных доз для foliarной обработке Лг2 и Лс1 (рис. 9).

В листьях мяты перечной наибольшее содержание цинка на варианте НПК+МЭ. Меди больше всего содержится в двух вариантах за три года:

НРК+МЭ и Лс2+НРК+МЭ. Содержание меди и цинка падает к концу опыта аналогично с мелкоделяночным опытом (рис. 10).

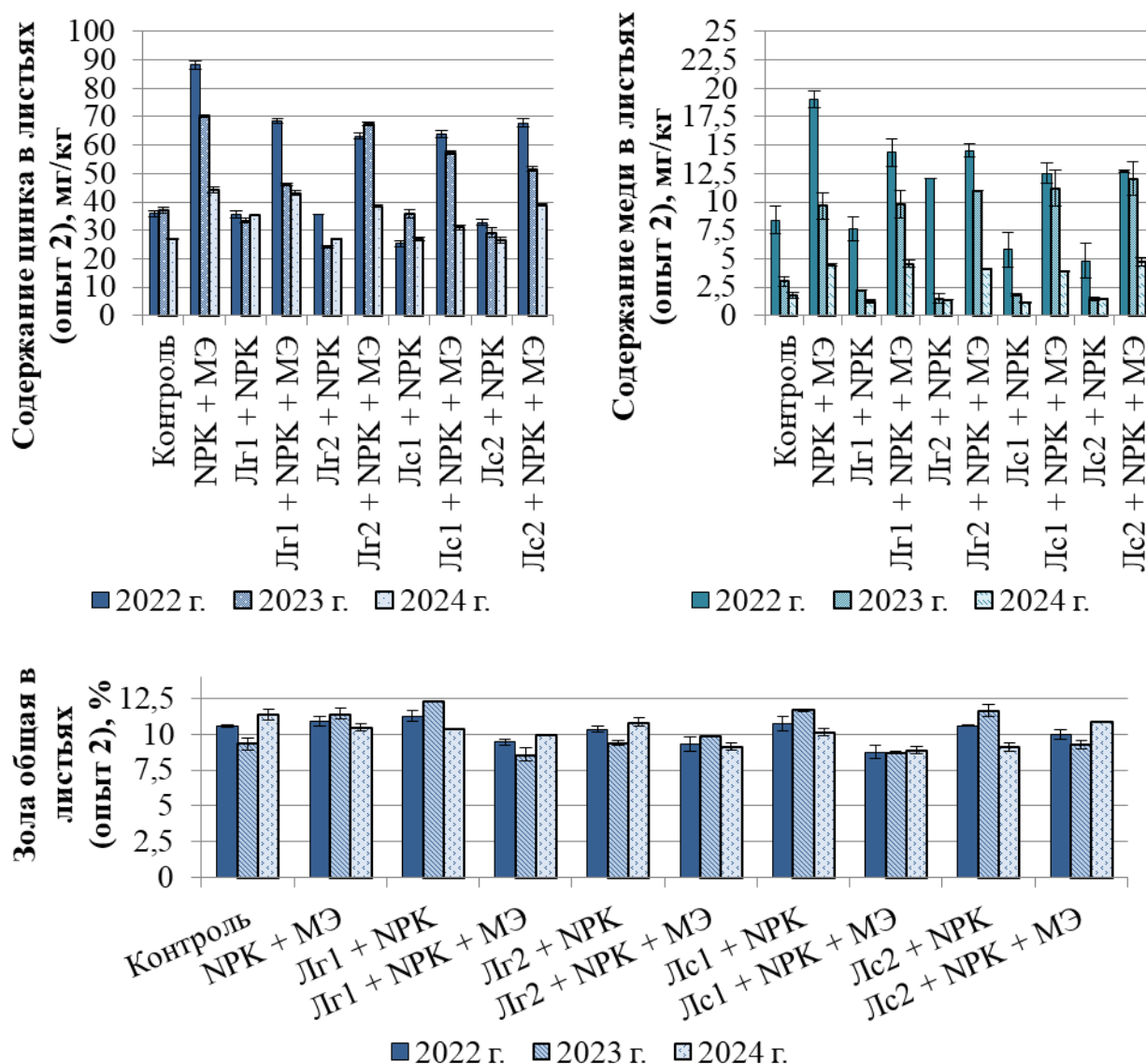


Рисунок 10. Содержание цинка и меди в листьях мяты перечной, мг/кг сухого веса, и содержание общей золы в сухих листьях мяты перечной, %.

Содержание общей золы в листьях совпадает с литературными данными (Пояркова, 2020; Сичко, 2024) и находится в диапазоне 8,6-12,3% за все три года исследования, что не превышает допустимого предела в 14% из Государственной фармакопеи, 2018. Внесение микроэлементов не повышает общую золу в листьях, а вместе с фолиарными обработками даже снижает ее содержание (рис. 10). Вес золы в листьях растений вегетационного опыта ниже, чем мелкоделяночного опыта, что связано с разницей в содержании питательных веществ в торфе и почвогрунте.

Значения суммы хлорофилла в листьях увеличивались в вегетационном опыте в 2024 г., а каротиноидов - снижалось в 2024 г. относительно 2023 г. Контрольный вариант имеет максимальное значение каротиноидов в 2023-2024 гг. относительно других вариантов, что связано, по-видимому, с наличием стресса у растений при недостатке элементов питания. Сумма хлорофилла была наибольшей на вариантах Лг2+NPK+МЭ и Лг2+NPK (рис. 11).

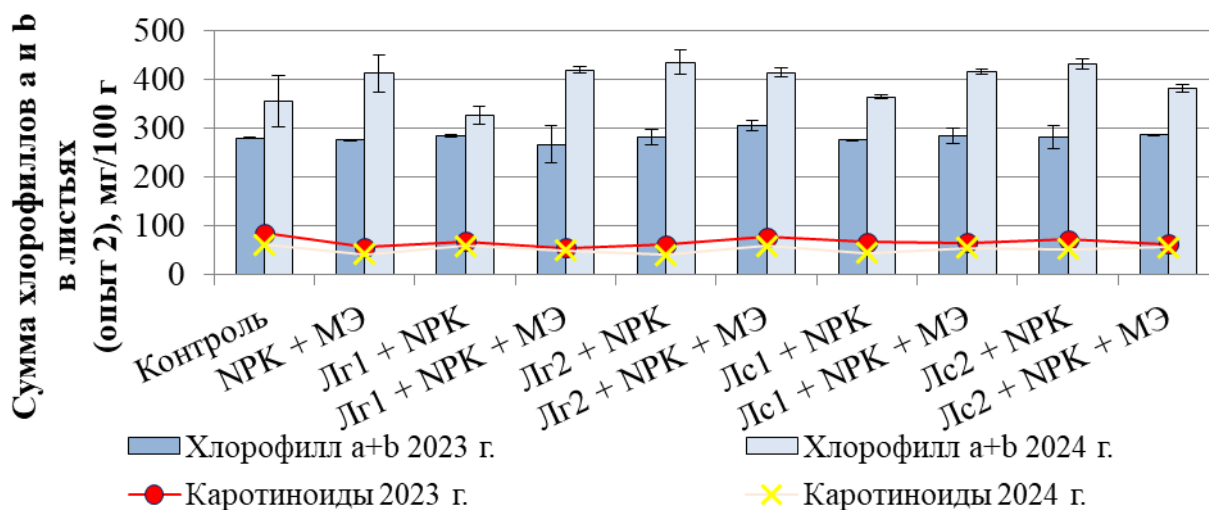


Рисунок 11. Содержание суммы хлорофиллов а и b и каротиноидов в листьях растений, мг/100 г сырой массы.

Заключение

На основании 3-х летнего исследования в мелкоделяночном опыте показано, что минеральные удобрения и фолиарная обработка Лг и Лс оказали влияние на сырую массу за три года исследования и на сухую в 2023 г. и 2024 гг. В 2023 г. содержание свинца в листьях снизилось и стало ниже ПДК, вероятно, за счет ростового разбавления, масса мяты перечной увеличилась в 2,9; 3,3; 2,4 и 1,7 раза, соответственно, относительно Контроля.

Внесение в почвогрунт минеральных удобрений усилило эффективность фолиарной обработки растений Лг и Лс на фотопигменты. Одни из самых высоких значений каротиноидов отмечен на варианте NPK+МЭ, что свидетельствует об оптимизации содержания каротиноидов в листьях при использовании фолиарных обработок Лг и Лс.

Внесение цинка и меди в почвогрунт увеличивало подвижность калия в почвогрунте и образование соцветий у растений. Также накопление цинка и меди в почвогрунте оказало влияние на уменьшение активности фермента каталазы.

В трехлетнем вегетационном опыте показано, что отсутствуют значимые различия по подземной массе.

При одинаковой схеме опыта, но разных условиях его проведения, значения общей золы в листьях отличаются по тренду. В мелкоделяночном опыте этот показатель был выше 14% в первый год и снижался год от года, в то время как общая зола в вегетационном опыте была ниже 14%. в разные годы исследования, что связано с разностью в питательной ценности почвогрунта и торфа. Для растений, выращенных в условиях полевого опыта характерно повышенное содержание общей золы в первый год выращивания. Также на снижение общей золы в растениях влияет применение минеральных удобрений (Сухоцкая, 2018).

Разный тип распределения данных в показателях вегетационного и мелкоделяночного опыта обусловлен в разных методах выращивания, что является нормой для мяты (Majkowska-Gadomska J. et al., 2024).

Выводы

1. В мелкоделяночном опыте максимальную сырую массу имели варианты Лс 0,01% + NPK+МЭ и Лг 0,05% + NPK+МЭ, увеличивая ее на 107-178 и 89-233 %, соответственно, по сравнению с контролем. В вегетационном опыте вариант Лс 0,01% + NPK без внесения цинка и меди увеличивал показатель на 67-363%, Лг 0,01% + NPK - до 260 % относительно контроля. По сравнению с NPK+МЭ варианты с фолиарной обработкой увеличивали этот показатель до 31 %. В вегетационном опыте не обнаружено значимого влияния удобрений и фолиарных обработок на подземную массу по результатам однофакторного дисперсионного анализа для 2023 г. (F-test $0,18 < 1,96$) и для 2024 г. (F-test $1,01 < 1,96$).

2. Самая большая масса и количество соцветий в мелкоделяночном опыте отмечено на варианте с лигногуматом 0,01% на фоне NPK+МЭ. На этом варианте фолиарная обработка и полный комплекс вносимых удобрений увеличивал количество соцветий на 16-19% в 2023-2024 гг. и сырую массу соцветий на 28% в 2024 г. относительно варианта без фолиарной обработки на фоне NPK+МЭ.

3. Фолиарная обработка растений лигногуматом и лигносульфонатом в двух концентрациях достоверно влияет на содержание подвижного калия в почвогрунте мелкоделяночного опыта и содержание цинка в листьях мяты мелкоделяночного и вегетационных опытов относительно контроля и варианта с NPK+МЭ на протяжении трех лет исследования. Внесение микроэлементов не повышает содержание общей золы в листьях, а вместе с фолиарными обработками даже снижает ее содержание относительно контроля на 10-23% в мелкоделяночном опыте и до 21% в вегетационном опыте.

4. Сумма фенольных соединений в листьях растений снижается на вариантах NPK+МЭ с фолиарной обработкой как лигногуматом, так и лигносульфонатом в двух концентрациях относительно варианта на фоне NPK+МЭ без фолиарной обработки. Активность каталазы повышается на 58-81% в варианте с лигногуматом 0,05% с NPK и падает на 40-67% в вариантах с фолиарными обработками на фоне NPK+МЭ относительно варианта на фоне NPK+МЭ. Фолиарная обработка лигносульфонатом 0,05% или лигногуматом 0,05% повышает сумму хлорофиллов как на вариантах с внесением удобрений с микроэлементами, так и без них на 7-15% относительно варианта NPK+МЭ. Содержание каротиноидов снижается при применении любых фолиарных обработок до 44% относительно NPK+МЭ.

5. Фолиарная обработка Лг или Лс оказывает влияние на массу, качество растений и стрессоустойчивость мяты перечной. Установлено, что концентрация Лг и Лс 0,01 % была эффективнее, чем 0,05%. Показано, что Лг и Лс оказывают схожее действие на физиолого-биохимические показатели растений.

**Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных для
защиты в диссертационном совете МГУ имени М.В.Ломоносова
по специальности и отрасли наук:**

1. Валешная Д.В., Пашкевич Е.Б. Влияние фолиарной обработки лигногуматом и лигносульфонатом на мяту перечную, выращенную в условиях загрязнения почвогрунта свинцом // Агрохимический вестник. – 2025. - № 1. - С. 81-87. – EDN: FRASWY (Импакт-фактор 0,536 (РИНЦ). Вклад автора в печатных листах (0,875/0,66). (Здесь и далее в скобках приведен объем публикации в печатных листах и вклад автора в печатных листах).
2. Пашкевич Е.Б., Валешная Д.В. Влияние фолиарной обработки мяты перечной (*Menta piperita* L.) лигносульфонатом и лигногуматом на ее морфометрические показатели // Проблемы агрохимии и экологии. – 2025. - № 2. - С. 26-30. – EDN: JQPUSZ (Импакт-фактор 0,366 (РИНЦ) (0,625/0,31)
3. Пашкевич Е.Б., Валешная Д.В. Оценка содержания фотопигментов в листьях мяты перечной после фолиарной обработки растений лигногуматом и лигносульфонатом // Плодородие. – 2025. - № 5 (146). - С. 32-36. – EDN: VVZLGV (Импакт-фактор 0,854 (РИНЦ). (0,156/0,08).