

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА
ФАКУЛЬТЕТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

На правах рукописи

Валешняя Дарья Владимировна

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

4.1.3. Агрехимия, агропочвоведение, защита
и карантин растений

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук
Пашкевич Елена Борисовна

Москва – 2026

СОДЕРЖАНИЕ:

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ, АГРОТЕХНИКИ И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЯТЫ ПЕРЕЧНОЙ И ДЕЙСТВИЕ НА РАСТЕНИЕ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	8
1.1. История выращивания эфиромасличных и лекарственных растений на примере мяты перечной	8
1.2. Агротехника возделывания мяты. Влияние различных видов удобрений и способы их внесения на рост и развитие растений рода мята	10
1.2.1. Минеральные удобрения	15
1.3. Действие биостимуляторов, в том числе на основе гуминовых веществ на растения	19
1.4. Физиологические (морфологические) характеристики и показатели мяты перечной	23
1.5. Оценка сырья мяты перечной по ее физиолого-биохимическим характеристикам	26
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ	31
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	33
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	34
2.3. Методы исследования растений и почвогрунта	34
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	39
3.1. Опыт 1. Изменение физиолого-биохимических показателей мяты перечной при внесении удобрений в почвогрунт и фолиарной обработке лигногуматом и лигносульфонатом растений в мелкоделяночном опыте	39
3.2. Опыт 2. Изменение морфометрических показателей мяты перечной при внесении удобрений в торф и фолиарной обработке лигногуматом и лигносульфонатом растений в условиях вегетационного опыта	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	87
ВЫВОДЫ	89
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	91
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	92
ПРИЛОЖЕНИЯ	109

ВВЕДЕНИЕ

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 (Ларина и др., 2019). Например, мята является прекрасным медоносом с легко доступным нектаром для пчел и других опылителей (Кухарева, 1989; Пояркова, 2020). Увеличенная экологическая нагрузка загрязнений на растения в городском дизайне требует особого внимания к устойчивости растений к неблагоприятным условиям. Мята обладает высокой отзывчивостью на внесение удобрений, что позволяет регулировать её физиологические и биохимические качества (Кшникаткин и др., 2021). В настоящее время, имеющиеся исследования нуждаются в доработке изучения особенностей роста и питания мяты перечной. Есть потребность в исследовании влияния микроэлементов на мяту, так как почвы в городских условиях содержат высокие концентрации микроэлементов, например, подвижные формы цинка (Прохоров, 2015). 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). Физиологические процессы, обеспечивающие адаптацию обмена веществ к неблагоприятным условиям окружающей среды, мало изучены для мяты (Кириченко, 2008), а биостимуляторы на основе гуминовых веществ положительно влияют на этот фактор (Куликова, 2018; Conselvan, 2017; Rouphael et al, 2018).

Наибольший интерес вызывают лигногуматы и лигносульфонаты (Патент № 2258366 С1, 2005; Гончарова, 2012; Ertani, 2019). В ряде работ они рассматриваются как биологические стимуляторы роста (Захаренко, 2021; Реут и др., 2023; Денисова, 2024; Soare, 2024). Они влияют на рост растительной клетки и процессы метаболизма в ней, на создание более проницаемой клеточной мембраны для питательных ионов, внесенных на

листовую пластину, на устойчивость растений к различным стресс-факторам, на содержание фотопигментов и фенольных соединений в растениях (Богословский, 2004; Ertani, 2011).

Степень разработанности проблемы. Эффективность биостимуляторов на основе гуминовых веществ показана на многих культурах (Eyheraguibel, 2008; Chang, 2012; Бекшенева, 2024). 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 (Мустьяцэ, 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 фолиарной 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 фолиарной обработки лигногуматом и лигносульфонатом в разных концентрациях.

4. Сравнить эффективность влияния фолиарной 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 фолиарной 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 (IV класс

опасности; Паспорт безопасности химической продукции. Лигносульфонаты технические порошкообразные, производство ООО НПО «Реализация экологических технологий», Санкт-Петербург и порошок лигносульфонат (производство АО «Соликамскбумпром», г. Соликамск, Пермский край).

Методология и методы исследования. Диссертационная работа основана на трёх ежегодных однолетних вегетационных опытах и одном 3-летнем мелкоделяночном полевом опыте. Все опыты были проведены на территории МГУ им. М.В. Ломоносова в 2022-2024 гг. Химиико-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 обработали 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 опубликовано 3 печатные работы: из них 3 статьи, опубликованные 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, в том числе 48 на английском языке.

Благодарности. Автор глубоко благодарен научному руководителю д.б.н., с.н.с. Елене Борисовне Пашкевич за помощь, поддержку и консультации в течение выполнения диссертационной работы. Автор признателен сотрудникам кафедры агрохимии и биохимии растений за помощь в организации вегетационного опыта и кафедре физике почв и мелиорации почв за предоставление участка для проведения мелкоделяночного опыта.

ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ, АГРОТЕХНИКИ И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЯТЫ ПЕРЕЧНОЙ И ДЕЙСТВИЕ НА РАСТЕНИЕ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. История выращивания эфиромасличных и лекарственных растений на примере мяты перечной

Эфиромасличные и лекарственные растения всегда привлекали человечество, и интерес к ним насчитывает несколько тысяч лет. Например, о лекарственных растениях, в том числе мяте, писали в древнеегипетском документе “Papyrus Ebers”, датируемый 1572 г. до н.э., и в книге трав Шэнь-Нуна из Древнего Китая, которая была написана около 5 тысяч лет назад (Шаова, 2024), а в Японии мяту использовали для лечения глазных болезней. Сфера применения таких растений была достаточно широка: медицина, кулинария, косметология, различные обряды и ритуалы, не только не изменилась на настоящий момент, но и расширилась, так как эфирные масла начали использовать в составе некоторых препаратов для защиты растений (Рудой и др., 2022).

Начало выращивания эфиромасличных и лекарственных растений принято рассматривать с частных древних садов. Затем с развитием научных знаний и появлением средневековых монастырей интерес к свойствам растительного материала стал возрастать. Стали появляться аптекарские огороды – сады, специализируемые только на лекарственных растениях, и ботанические сады. Примером такого учреждения является ботанический сад при медицинской школе в Салерно (дата основания 1309 г.). Со временем появилось больше информации об агротехнике, а с развитием индустриального общества увеличилась потребность в массовом производстве эфиромасличного и лекарственного сырья. На примере мятного эфирного масла его массовое производство насчитывает около 300 лет. Первые промышленные плантации мяты были заложены в Англии на площади 40 га (Мустяцэ, 1985). Именно в это время был выведен гибрид с высоким содержанием ментола – мята перечная

Mentha piperita L. До этого выращивались и культивировались дикорастущие мяты. Постепенно уровень выращивания мятной культуры достиг высокого уровня и от культивирования дикорастущих видов отказались к окончанию XIX века (Кириченко, 2008).

В России также уделяли внимание лекарственным растениям. В 1706 г. был заложен Аптекарский огород, который считается одним из первых сохранившихся ботанических садов для выращивания трав в медицинских целях.

Первой в массовом производстве мятного сырья была Англия. Там же был выведен гибрид мяты перечной *Mentha × piperita* L. (*M. aquatica* L. x *M. spicata* L.). В России до революции мяту перечную стали выращивать с сорта Mitcham, а объем производства эфирного масла в 1913 г. достигал 16 т. В СССР максимальный объем масла был равен 180 т в 1940 году и в 1980-х годах. Урожай мяты был не стабильным, так как иногда растения вымерзали в холодное время года. Стоит отметить, что на момент распада СССР стабильно заготавливали 45 000 т. лекарственных растений (сухого сырья), в том числе и мяту (Шишкова, 2007). За время возделывания в советский период были выведены сорта мяты перечной для территорий Украины, Молдавии и Краснодарского края (Мустьяцэ, 1985; Войткевич, 1999).

В России на 2008 год было получено около 25% растительного материала, предназначенного для лекарственного и ароматического сырья, которое было использовано только для 10% лекарственных препаратов с производством в России. Такое количество растительного сырья обеспечила площадь под лекарственные и ароматические растения размером всего лишь 9,0 тыс. га. Чтобы снизить зависимость от импорта и удовлетворить спрос на сырьё из лекарственных растений внутри страны, существует рекомендация по увеличению площади посевов до 100 тыс. га. Однако такой объём также не покрывал потребности в сырье — его требовалось в два раза больше (Шишкова, 2007). Россия не обеспечивает себя достаточным количеством растительного сырья мяты на аптечный лист и производства эфирного масла, поэтому импортирует его существенную долю. В тоже время на ее территории есть

свободные пахотные земли, на которых можно выращивать мяту перечную наряду с сельскохозяйственными культурами (Гусев и др., 2014).

1.2. Агротехника возделывания мяты. Влияние различных видов удобрений и способы их внесения на рост и развитие растений рода мята

Успешное возделывание эфиромасличных растений зависит от различных факторов, таких как климатические условия, физико-химические свойства почвы, экологические и биологические характеристики каждого вида культуры (Zhu, 2006). Являясь многолетним растением, мята возделывается на многолетних плантациях, которые обычно используются в течение 3-5 лет, в редких случаях до 7-10 лет (Мустьяцэ, 1985). При многолетнем выращивании возникают закономерные проблемы для монокультуры: засорение сорняками, поражение болезнями (часто ржавчиной) и вредителями (мятная тля) (Мустьяцэ, 1985; Кухарева, 1989). В регионах с морозами в зимнее время есть риск вымерзания корневищ. Закладывая основы производства лекарственных растений, хозяйствам следует рационально подходить к выбору участка, опираясь на местные условия почвенного плодородия, загрязнителей, историю предшествующих культур и местоположение, уделяя особое внимание рекомендуемым районам для производства с учётом географического распространения выращиваемых растений (Zhang, 2010). Соответственно, не меньшее внимание следует уделять географии происхождения растений и месту их происхождения (Liu, 2002). Будучи и лекарственным, и эфиромасличным растением, к мяте предъявляются особые требования. В связи с этим распространена практика, когда 1-2 летнюю культуру используют для получения аптечного листа, а культуры старшего возраста – для получения эфирного масла. Мята выращивается рядковым или безрядковым (луговая культура) способом на подобных плантациях (Мустьяцэ, 1985).

Рекомендации по севообороту следует строго соблюдать во избежание распространения инфекционных заболеваний и вредителей. Например, в США в штате Мичиган прекратили выращивать мяту в 40-50 гг. на 20-30 лет из-за массового поражения вертициллезным вилтом растений. Возделывания мяты

вернулось в этот регион только после выведения устойчивого сорта к данной болезни. Рекомендации по севооборотам следующие:

- 1) после 2 лет выращивания мяты возделывают зерновые культуры и лук;
- 2) при 6-7 польном севообороте для мяты отводится только 1-2 поля;
- 3) при низкой окультуренности почв предшественники в севообороте имеют существенное значение. Лучшими в данном случае являются озимые зерновые культуры (Мустьяцэ, 1985), многолетние травы, картофель (Пояркова, 2020);
- 4) кроме озимых зерновых хорошими предшественниками являются горох на зерно и сахарная свекла;
- 5) для борьбы с ржавчиной рекомендуется включать люцерну в севооборот (Мустьяцэ, 1985).

Существуют рекомендации для выращивания мяты в почвенно-климатических условиях Южной Черноземной зоны (Северный Кавказ, Украина). Например, для Придунайской низменности для 6-польного севооборота предусмотрено однолетняя культура мяты (Мустьяцэ, 1985). Однако такие рекомендации не учитывают отзывчивость сортов, а также не подходят для регионов с другим климатом (Морозов, 2012). Количество сортов мяты огромно, их выращивают для самых различных целей: от сырья для лекарств до газонной травы на частных участках (корсиканская мята).

Посадки мяты обычно осуществляют корневищами. Для этого используют черенки из надземных побегов с корневищами, размером 15-20 см (не менее 10-15 см), чтобы на одном черенке было от 2 до 8 узлов с почками. Стандартное расстояние при посадке – 10-15 см между растениями. Почва уплотняется под тем местом, куда будет посажено корневище (Кухарева, 1989; Пояркова, 2020). В зависимости от предшественника посадки черенков с корневищами могут быть осенью, ранней весной или летом. Осенние посадки проводятся в октябре (для климата Республики Молдова) после подготовки почвы (вспашка, борьба с

сорняками). Ранневесенняя посадка осуществляется после позднеубираемых культур с зяблевой обработкой почвы. Посадочный материал высокого качества получают на специальных семенных участках и маточниках. В южных регионах (Северный Кавказ, Крым) корневища для посадки не выкапывают с маточных плантаций. К процессу кагатирования – зимнего хранения корневищ в кагатах (наземных насыпей) с укрытием на длительный период – обращаются в районах, где корневища вымерзают в зимнее время. Для сохранения корневищ после посадки рекомендуется поддерживать влажность почвы не ниже 70% от ППВ. В большинстве случаев сначала формируются всходы, и только затем мята развивает подземные органы вместе с надземными органами. Летние посадки имеют преимущества по сравнению с осенними и весенними в том, что 1) нет интенсивного ухода за полевыми культурами и хозяйство имеет больше ресурсов для закладки плантаций; 2) растения успевают образовать дочерние корневища, которые повышают их шансы на перезимовку; 3) постепенное снижение светового дня и среднесуточных температур также благоприятно влияют на адаптивность к холодному времени года. Период с III декады июля по первую половину августа считается лучшим для таких посадок. В более позднее время успешная приживаемость растений во многом зависит от сортовых особенностей (Мустьяцэ, 1985).

Размножение мяты семенами распространено хуже, чем вегетативными частями. Для этого есть несколько причин. Во-первых, всхожесть семян низкая и составляет 10-25%; во-вторых, сеянцы мяты не сохраняют часть признаков материнского растения (Пояркова, 2020).

Мята относится к влаголюбивой культуре, и ее рекомендуется поливать даже в регионах с достаточным увлажнением. При этом стоит иметь в виду, что высокоувлажненная почва на фоне температуры ниже нормы в летний период способствует снижению продуктивности мяты и уменьшению выхода эфирного масла, также как и засуха (Мустьяцэ, 1985).

Температурный диапазон для вегетации мяты по данным разных исследователей считается 17-22 °С для регионов с умеренным и влажным

климатом. При этом в южных странах (таких как Бразилия) оптимум произрастания мяты составляет 28-32 °С. Если среднесуточная температура становится выше 23 °С, возможно снижение ментола в эфирном масле, в то время как общий выход масла увеличивается (Мустьяцэ, 1985). Температура также оказывает влияние на фазы произрастания мяты. Фаза ветвления активно происходит в диапазоне 22-25°С; если температура повышается до 27°С, то значительно ограничивается образование побегов и сокращается площадь листьев (Кириченко, 2008). Сумма положительных температур также колеблется в зависимости от среднеспелых сортов, позднеспелых и в случаях получения 2 укосов за год: 1) 1500-1600°С; 2) 1800-2000°С; 3) 3200 °С (Мустьяцэ, 1985). Сумма эффективных температур на период вегетации в диапазоне 3200-3400 °С наиболее благоприятна для выращивания мяты перечной на эфирное масло, при диапазоне суммы температур 2400-2600°С (актуально для средней полосы России, например, Московской области) мяту лучше выращивать на аптечный лист (Шелепова и др., 2011). В зимнее время подземные органы мяты нормально переносят температуру в -10°С. Если корневища находятся глубже 3-4 см и есть снежный покров от 15 до 20 см, то они выдерживают более сильные морозы до -30°С. Стоит иметь в виду, что нужно учитывать и время воздействия минусовой температуры. Кратковременные сильные морозы длительностью менее 24-48 часов, будут иметь менее негативные последствия на зимующие растения, чем долговременные (Мустьяцэ, 1985). В тропических ареалах мята вегетирует в течение года. В тех южных регионах, где зимой температура снижается ниже 10°С, мята останавливается в росте и возобновляет его при достижении температуры 12-14 °С (обычно это весенний период) (Кириченко, 2008). Что касается максимальной температуры, при которой мята продолжает вегетировать, то по литературным данным она равна 40°С.

Освещение важно для роста и развития генеративных органов у растений. В литературе есть данные, что если световой день длится менее 12 часов, то замедляется рост надземной массы, увеличивается прирост корневищ и уменьшается прирост листьев (Мустьяцэ, 1985). Однако для мяты такое правило

распространяется не на все районы выращивания. В Юго-Восточной Азии (Вьетнам), где протекает короткий световой день менее 8 часов, местные сорта мяты могли давать 2-3 укоса в год, а доля соцветий равнялась 14% от общей массы (Лыу Дам Кы, 1988). В данном случае для мяты важным фактором оказывается не столько длина светового дня, сколько интенсивность света (Кириченко, 2008). При этом надо помнить про сортовую вариативность и адаптивность к разным экологическим условиям, которые могут быть для одного сорта лимитирующим фактором, для другого нет.

Существует точка зрения, что мята является болотным растением. Однако условия заболоченных почв ей не подходят, несмотря на то, что ее можно встретить в местах с увлажнением. Скорее она предпочитает почвы, которые богаты органикой и достаточным содержанием питательных элементов. Средиземноморский бассейн принято рассматривать центром происхождения мяты (Кириченко, 2008), а для него не характерна болотистая местность. Мята требовательна к почвенным условиям, так как ей необходимо наращивать массу за вегетацию. Наиболее подходящие характеристики почв для нее следующие: суглинистые, гумусные с содержанием физической глины не более 45-50 % (диаметр частиц $<0,01$ мм), с высоким увлажнением; реакция среды слабокислая или нейтральная, при этом допустим интервал $pH=5-8$ (Baslas, 1970) либо $pH=6-9$ (Moi La Ding, 1980), при $pH=4,7$ резко падает рост надземной массы и выход эфирного масла. Тяжелые, засоленные и бедные питательными веществами почвы малопригодны для выращивания мяты (Мустяцэ, 1985).

Распространен метод гидропоники для выращивания мяты. Этот способ позволяет быстро нарастить массу у растений, например, для пищевой продукции. Морфометрические параметры растений могут варьировать в зависимости от вида. При этом виды и сорта мяты, выращенные на гидропонике и выращенные в полевых условиях, будут иметь значимые различия: высота и количество ветвей будут выше у выращенных в полевых условиях растений (Majkowska-Gadomska J. et al., 2024).

1.2.1. Минеральные удобрения

Важный прием в уходе за мятой – это внесение минеральных удобрений в оптимальных дозах. Разные сорта и виды мяты достаточно отзывчивы на внесение минеральных удобрений. Например, на сорта мяты перечной «Москвичка», «Загадка» и «Кубанская 6» в условиях Нечерноземной зоны минеральные удобрения увеличивают урожайность листа (Морозов и др., 2012). Вид мяты луговая увеличивается в росте при повышенных дозах азотных удобрений до 240 кг/га д.в., а ее свежая надземная масса повышается при дозах до 120 кг/га д.в. (Shormin et al., 2009). Высокая отзывчивость мяты на удобрения обусловлено особенностью ее корневой системы. Несмотря на то, что главный корень может уходить достаточно глубоко, основная масса корней находится в приповерхностном слое до 40-60 см и их ответвления идут от корневищ, что снижает мощность корневой системы. При коротком сроке вегетации для получения урожая мяте необходимо набрать большую массу, поэтому удобрения обеспечивают ей интенсивный рост (Мустьяцэ, 1985).

При выращивании мяты обычно вносят сразу три типа удобрений (полное минеральное питание): азотные, фосфорные и калийные. Иногда калий не вносят при достаточной обеспеченности им почвы и поэтому используют только азотные и фосфорные. Такая агротехника обусловлена физиологическими особенностями мяты. При посадке мяты рекомендуется вносить небольшие дозы N10P15K15 комплексных сложных удобрений, например, нитрофоски (Мустьяцэ, 1985). Вариативность сочетания азотных, фосфорных и калийных удобрений, например, сочетания азота с фосфором или фосфора с калием, имеет место быть в зависимости от физико-химических свойств почв, на которых выращивают растения (Кириченко, 2008).

Актуальными являются зональные рекомендации по дозам и по агротехнике удобрений для мяты. При их составлении обычно опираются на агрохимические показатели почвы и климатические условия. В США существует практика по внесению высоких доз 200-250 кг/га д.в. NPK (1:3:3) как основное удобрение и дополнительно 45-70 кг д.в. NPK перед поливом. Для Северного

Кавказа в условиях полива рекомендовано вносить следующие дозы с учетом разных агротехнических приемов: 1) под основную вспашку – N60P60K60; 2) локально сбоку рядка – N90P120K90; 3) на богаре, основное – N60P45K45; 4) на богаре, припосадочное – N10P20; 5) на богаре, подкормка – N60P45. Внесение удобрений отличается для двухукосной технологии. Например, на территории Крыма вначале сезона вносят минеральные удобрения N130P120K60, после первого укоса – N80P40K30 (Мустьяцэ, 1985). Тем не менее, есть рекомендации по разделному внесению азотных от фосфорных и калийных удобрений: под основную вспашку осенью вносят P60K120, а под посадку растений весной N60 (Кухарева, 1989).

Количество макро- и микроэлементов в вегетативных органах мяты может изменяться в зависимости от сорта растения, фазы развития и условий произрастания (Мустьяцэ, 1985). Тем не менее, есть общие принципы действия питательных элементов, которые распространяются на все виды мяты, поэтому стоит рассмотреть их роль в онтогенезе данного растения.

Азот играет важную роль в процессах фотосинтеза, которые участвуют в росте растений и нарастании вегетативной массы, и входит в состав аминокислот и белков. В частности внесение азота под перечную мяту приводит к росту растений и увеличению длины листьев и биомассы (Praszna, 1992). В то же время если питание растений азотом не сбалансировано, то наблюдается уменьшение выхода эфирного масла и содержание ментола в нем. Кроме того, избыток азота снижает иммунитет растения, что может вызвать появление ржавчины на мяте (одно из ее частых заболеваний). Какая форма азотных удобрений, аммиачная или нитратная, больше подходит для мяты, остается дискуссионной темой, так как среди исследователей нет единого мнения (Мустьяцэ, 1985; Baslas, 1970).

Фосфор является важной составляющей нуклеиновых кислот, ферментов, белков и многих других соединений, в том числе входит в состав клеточных стенок и предшественников компонентов эфирных масел, например, геранилпирофосфата (Бугаенко, 2010). Он дает стимул процессам фотосинтеза и входит в состав энергетических соединений АТФ и НАДФ, а также влияет на

образование новых корней и на их рост. Фосфорные удобрения имеют большее значение во время фазы ветвления, так как влияют на кустистость мяты. Совместное внесение азотных и фосфорных удобрений чаще практикуется, их раздельно практически не вносят, так как по отдельности они менее эффективны. В результате совместного внесения фосфора и азота повышается общее содержание эфирного масла и сухого вещества, высота и биомасса растений, количество листьев и общее содержание хлорофилла (Abbas, 2009). Внесение фосфора в питание мяты позволяет снизить отрицательное действие избытка азота на качество эфирного масла (снижается содержание ментона) (Мустьяцэ, 1985). Недостаток фосфора приводит к замедлению роста растений, уменьшению количества листьев и площади листа, а также снижает содержание аммонийной формы азота в растениях (Singh, 1968). При повышенном содержании фосфора в питательном субстрате для мяты полевой увеличивается содержание нитратной формы азота в растительном сырье (Souza, 2024).

Калий относится к важнейшим макроэлементам и известен тем, что участвует в регуляции водного обмена, и потому важен для сбалансированного развития растения. Калийные удобрения в виде хлористого калия не рекомендуются использовать, так как есть данные, что он приводит к низкому содержанию эфирного масла в надземной части (Мингалев, 2004). При этом в общей картине действия калия на качество масла есть неоднозначные выводы – он может как повышать содержание ментола, так и понижать его. Хотя урожайность с ним повышается (Кириченко, 2008).

Так как мята является многолетним растением и ей необходимо перезимовывать в холодное время года, то в её агротехнике необходимо уделять внимание фосфорному и калийному питанию. Фосфорные и калийные удобрения помогают многолетним растениям накапливать пластичные вещества и адаптировать процессы к суровым холодным условиям. Фосфор помогает укрепить корневую систему, калий помогает адаптироваться к недостатку влаги зимой.

Макроэлемент кальций оказывает неоднозначное действие на произрастание мяты. На карбонатных почвах возможно снижение урожайности

мяты, однако это легко нивелируется орошением с поддержанием 80% от НВ. Также его значение для содержания эфирного масла и ментола при неизменном уровне содержания азота, фосфора и калия минимально, и он не влияет на урожайность вторичного сырья в виде масла (Мустяцэ, 1985). Однако в исследованиях с мятой длиннолистной, выращенной на гидропонике с высокими концентрациями цинка 300 μM и 600 μM , кальций регулировал токсичный эффект цинка. Его действие оказало влияние на повышение содержание хлорофилла и пролина (аминокислота), на метаболизм серы (увеличилось содержание цистеина) и усиление антиоксидантной активности. Внесение кальция в дозе 10 mM снижало содержание метилглиоксаля, малондиальдегида и перекиси водорода (Barzin, 2024).

Микроэлементы являются важной составляющей для биохимических процессов. Они обеспечивают устойчивость растений к неблагоприятным факторам и к болезням (Митрохина, 2014). В небольших и оптимальных для растений количествах микроэлементы приносят пользу. При высоких концентрациях в питательном растворе, почве или субстрате они оказывают токсичное действие на растения, подавляя важные жизненные процессы (Погорелов, 2021). Считается, что мята обладает устойчивостью к токсичным концентрациям микроэлементов и элементов, относимых к тяжелым металлам, и сама способна накапливать их в больших количествах. Например, содержание мышьяка в мяте, произрастающей на не загрязненной местности, составляет 1,5 мг/кг, что объясняется ее физиологией. Бор, цинк, селен и стронций могут концентрироваться в вегетативных органах растений (Пояркова, 2020). Для некоторых элементов наблюдается явление синергизма: 1) алюминий, ванадий и железо; 2) медь и цинк; а также антагонизма: 1) никель и марганец, 2) свинец и марганец, 3) кобальт и марганец (Щукин и др., 2022). Фолиарное внесение бора в виде 0,025% раствора борной кислоты и цинка в виде 0,05% раствора сульфата цинка способствуют большему получению сухого листа и повышению содержания эфирного масла (Мустяцэ, 1985). На гидропонике мята перечная больше накапливает не хелатные формы цинка и меди в надземных побегах, чем в

корнях (концентрация в растворе каждого элемента 0,0025; 0,005; 0,0075 и 0,025 мг/л). При введении ЭДТА в питательный раствор поглощение цинка и меди мятой перечной снижается, однако уровень поглощения при концентрации 0,025 мг/л остается без изменений (Dagari, 2019). Кроме поступления через удобрения микроэлементы могут попадать в растения через средства защиты растений. Например, при поражении мяты ржавчиной рекомендуется обработать ее раствором цинеба (Мустьяцэ, 1985). В состав этого вещества входит цинк (Погорелов, 2021).

Положительный эффект на мяту имеют органические удобрения. Если их вносить после уборки, то последующее отрастание растений будет благоприятно сказываться на урожайности (Кириченко, 2008).

1.3. Действие биостимуляторов, в том числе на основе гуминовых веществ на растения

Гуминовые вещества являются распространенными биостимуляторами, которые запускают рост и развитие растений через питание, ферменты и стимулирующие реакции (Conselvan et al., 2017). Они оказывают положительное влияние на поглощение питательных веществ и строение корневой системы (Trevisan, 2010). Есть предположения, что применение гуминовых веществ способствует биосинтезу вторичных метаболитов в лекарственных растениях. В ряде работ (Nardi, 2016; Nardi, 2017) показано, что гуминовые вещества стимулируют рост растений, вызывая гормоноподобные эффекты и повышение эффективности фотосинтеза, увеличивают скорость дыхания и улучшают поглощение питательных веществ корнями через прямое или косвенное воздействие на экспрессию генов, кодирующих изоформы H⁺-АТФазы и мембранные транспортеры, которые функционируют в первичном и вторичном метаболизме растений. Данные эффекты имеют важное значение для мяты перечной, которая ценится своими вторичными метаболитами – компонентами эфирного масла (ментол, лианон, пулегон и др.) — они содержатся во всех вегетативных частях растения.

У гуминовых веществ есть ещё одно свойство – они повышают устойчивость растений к разным стресс-факторам, в том числе уменьшают токсичность тяжелых металлов. Принято считать, что гуминовые вещества образуют комплексы с металлами, таким образом, снижая их биодоступность. Тем не менее, эффект от обработки гуминовыми веществами имеет спорные результаты в отношении поглощения и накопления тяжелых металлов растениями. Например, известны исследования, по результатам которых в табаке увеличивалось содержание кадмия, а в мягкой пшенице повышалось содержание кадмия и свинца (Evangelou, 2004; Khan, 2006).

Существуют разные виды препаратов, называемые удобрениями и содержащие гуминовые вещества или соединения, близкие по структуре и свойствам к гуминовым веществам. Например, есть препараты, которые делают из торфа, бурого угля (леонардита) или продуктов переработки древесины лигнина (лигносульфонат) (Реестр пестицидов и агрохимикатов..., 2025). Гуминовые вещества могут добавлять как один из компонентов к препаратам со сложной формуляцией (биостимуляторы, средства защиты растений) (Патент № 2258366 С1, 2005). Действие гуминовых веществ может отличаться на различных культурах и при разных способах внесения (в корень или на лист), а их эффект зависит от типа растения, его фазы роста и агротехнических условий произрастания.

Фолиарная обработка растений является одним из эффективных способов внесения веществ и питательных элементов, поглощающихся листовой пластиной. Фолиарная обработка гуминовыми веществами используется как стимулирующее средство, которое активизирует ростовые и ассимиляционные процессы (Кшникаткин и др., 2021).

Для представителей рода мяты применение фолиарной обработки гуминовыми веществами наблюдали положительный эффект на развитие корневой системы, увеличение площади листа, кустистость и биомассы (Hendawy et al., 2015; Roosta et al., 2016). В некоторых работах выявлена связь между высоким содержанием калия, фосфора, кальция, железа марганца и меди

в растениях, выращенных на гидропонике, и фолиарной обработкой удобрениями, содержащими 60% гуминовых веществ (Roosta et al., 2016). В условиях засухи эффективность фолиарной обработки гуминовыми веществами зависит от концентрации раствора для обработки. Положительный эффект на осмотическое состояние растений есть у растворов концентрации 1000 мг/л – относительная влажность листьев выше, чем в вариантах обработки с более низкими концентрациями (500 мг/л). Также отмечается влияние на фотосинтетическую активность. Содержание хлорофилла у мяты колосистой заметно увеличивается по сравнению с контролем при дозе 1000 мг/л гуминовых кислот (Rostami et al., 2019).

Не менее интересный эффект обнаруживается при поливе растений гуминовыми веществами. В условиях водного стресса у мяты длиннолистной наблюдается увеличение количества листьев, высоты растений, сухой массы корней, надземной свежей и сухой массы при применении биостимулятора с экстрактом водорослей (15% на жидкое вещество) и гуминовыми кислотами (5% на жидкое вещество) в количестве 1,5 мл на 1 л воды для полива (Elansary, 2019). Состав эфирного масла мяты во многом зависит от сортовых и видовых характеристик в первую очередь, затем большой вклад имеют климатические условия (Кириченко, 2008) и только потом питание растений – действие гуминовых веществ не является исключением.

Отмечено, что гуминовые препараты также влияют на декоративность цветущих растений. Например, у колокольчика персиколистного, колокольчика карпатского, флокса метельчатого увеличивалась длительность цветения, размеры цветков и соцветий и их количество при применении гуминовых веществ (Реут, 2023).

Древесные растения также отзывчивы на гуминовые вещества. Можжевельник обыкновенный и туя западная дают прирост от 113,6% от контроля при фолиарной обработке гуматом аммония с концентрацией 10^{-5} %, а ель колючая голубая дает прирост 150% относительно контроля с обработкой такого же препарата, но с концентрацией 10^{-4} % (Бутюгин и др., 2012). При

применении раствора из щелочной вытяжки биогумуса (5 мл на 1 л) с двукратной обработкой туя западная низкая имеет прирост 119% к контролю, ель колючая голубая имеет прирост 122,2% к контролю (Гаранович, 2022).

Фолиарное применение гуминовых кислот из вермикомпоста 48 мг С/ л (где С - это углерод) совместно с бактериями (*Herbaspirillum seropedicae*), стимулирующими рост, в концентрации 5×10^8 клеток/мл после посадки саженцев дважды (на 5 день и 30 день) увеличивает урожай банана на 50%, папайи на 90%, маракуйи на 25% и повышает жизнеспособность саженцев при посадке. При этом такое же совместное применение не оказывает никакого эффекта на продуктивность ананаса (Canellas, 2022).

Применение лигнинсодержащих препаратов на саженцах бананов в фазе 5 пары настоящих листьев показывает, что снижается активность уреазы, повышается активность нитрат-редуктазы (но при концентрации 50 г/л она снижается) и фосфатазы, масса надземных органов и корней повышается, также как и поглощение корнями NPK (Liang, 2023). На кукурузе лигносульфонат-гуматы проявляют гормоноподобную активность, что отражается на увеличении содержания хлорофилла и предполагает позитивную роль лигносульфонат-гуматов в процессах фотосинтеза (Ertani, 2011).

Одним из препаратов с гуминовыми веществами является лигногумат. Сырьем для его производства служат отходы целлюлозно-бумажной промышленности, лигнин, из которого получают лигносульфонат. Для его получения, лигнин смешивают с щелочным агентом, гидроокисью калия или натрия, и проводят окисление в две стадии до получения раствора с рН 8,5-10, который является основным компонентом для различных модификаций лигногумата (Патент № 2205166 С1, 2003; Патент № 2747976 С1, 2021). Действие лигногумата показано на различных культурах, в том числе на лекарственных. Например, жидкая форма лигногумата с концентрацией рабочего раствора 100 мл на 10 л воды, которым проливали 1 раз в год в течение 2 лет, увеличивает урожайность эхинацеи пурпурной на черноземе обыкновенном в 1,1-1,2 раза (Гончарова и др., 2012). Есть также данные по

цветочно-декоративным культурам. Например, ирисы имеют более крупные листья при корневом внесении лигногумата, и их вегетативные органы увеличиваются при фолиарном внесении этого препарата. Действие лигногумата на ирисы имеет положительный пролонгированный эффект на рассаду и благоприятный эффект в долгосрочной перспективе для взрослых растений – выпад годовалых растений уменьшается на 21%, а оставшиеся растения активнее идут в рост на 40% (Бекшенева, 2024). Несмотря на ряд положительных эффектов от применения лигногуматов, есть и отрицательные результаты. Так, при замачивании черенков хризантем в растворе «Лигногумата» марки АМ калийный в концентрации 9 мл/л длина и количество корней ниже, чем у контрольного варианта до 48% (Денисова, 2024).

Что касается воздействия гуминовых веществ на корневую систему, то в лабораторных условиях сахарный тростник, кукуруза, томат и арабидопсис, которые были обработаны гуминовыми кислотами из вермикомпоста, проявляют ярко выраженное развитие боковых корней из зоны меристемы (Canellas, 2022). На рост корней кукурузы оказывает влияние препаратов лигносульфонат-гуматов, получаемый из лигнина (Ertani, 2011).

1.4. Физиологические (морфологические) характеристики и показатели мяты перечной

Отрастание мяты на начальных этапах развития зависит от внешних условий, таких как длина светового дня, температурный режим, водный режим и других факторов. При благоприятных условиях скорость отрастания надземной части (листья, стебли) после посадки быстрее, чем подземной части (корневища). Так, надземная часть начинает отрастать в среднем через неделю после посадки, а корневища начинают примерно через 10 дней. Лимитирующим фактором на этом этапе развития является влага, которая ограничивает отрастание почек. В условиях умеренного и умеренно-континентального климата (пример – территория Москвы) отрастание корневищ приходится на весенний период, а в условиях тропического климата этот период более длительный – корневища отрастают до конца фазы ветвления (Кириченко, 2008).

Следующая фаза – ветвление – длится до появления бутонов. В этот период образуются боковые проростки, которые появляются на центральном стебле. Также параллельно образуются побеги 1-го порядка, а в тропических условиях могут быть побеги 2-го и 3-го порядка. Из них на следующий год вегетации получают растения, образующие цветки. Мята перечная характеризуется повышенной облиственностью в этот период по сравнению с другими видами мяты (Кириченко, 2008).

Бутонизация длится приблизительно одинаково у разных сортов мяты. Значительным отличием для этого периода является период от посадки до бутонизации (Кириченко, 2008).

На скорость развитие мяты по фазам могут оказывать внешние условия, например, такие как высокая температура и низкая влажность. При достаточном увлажнении мята может давать 2 укоса за сезон. Срезают мяту во время бутонизации-цветения, когда цветет 50-75% растений (ГОСТ Р 53593-2009).

Площадь листа является ключевым показателем роста и развития растительной продукции, а также определяет эффективность потребления света. Поэтому изучение и оценка площади листьев мяты, произрастающих в различных условиях, имеет особое значение (Tahmasebi-sarvestani Z. et al, 2019). При орошении размеры листа увеличиваются. Суммарная площадь листьев в фазе цветения имеет высокую корреляцию ($r=0,70-0,97$) с содержанием эфирного масла (Мустьяцэ, 1985).

Подземные органы мяты представлены корнями и корневищами. Корни мочковатые с ветвлением, могут проникать на глубину до 2 м в засушливых условиях. При этом большая часть корневой системы находится на глубине до 0,3-0,6 м. Связано это с наличием корневищ с придаточными корнями, которые находятся близко к поверхности. Корневища – важный орган по запасным питательным веществам. Иногда они образуют плети – это расположение корневищ на поверхности при произрастании на плотных почвах. Они представляют собой стелющиеся побеги с более короткими междоузлиями и уменьшенной пластиной листа. Корневища бывают центральными

(материнскими) и дочерними. Обычно на следующий год вегетации новые побеги появляются из дочерних корневищ, а материнское отмирает. В южных регионах материнские корневища могут продолжить вегетировать на следующий сезон. Наилучшей фазой для формирования корневищ является бутонизация. Для того чтобы использовать корневища как посадочный материал, надземную массу не убирают. Связано это с тем, что надземная масса и подземная масса имеют тесную корреляцию. За счет оставления верхней части растений увеличивают количество корневищ. Однако здесь есть свои особенности. При недостаточном увлажнении корневища на несрезанных растениях теряют свою устойчивость к стресс-факторам. В зимний период они обладают более глубоким покоем. В несрезанных соцветиях находятся специальные ингибиторы жизнедеятельности почек корневищ, что не позволяет корневищам формировать надземные побеги. В случае с многолетними плантациями мяты, где происходят укусы – корневища в этом случае не уходят в глубокий покой и могут прорасти в холодное время года при 3-5 °С, что может стать причиной вымерзания полей с возвращением похолодания (Мустьяцэ, 1985).

Для производственных процессов имеют ценность те виды мяты, которые имеют большую долю листьев в сравнении с другими органами (стебли, соцветия), так как именно в них содержится эфирное масло лучшего качества (Мустьяцэ, 1985).

Одним из важных морфологических характеристик мяты является её высота побегов. Эта информация характеризует сортовые особенности растений и указывается как значимое различие. В Государственном реестре сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию на территории РФ (www.gosortrf.ru, 2025) на 2025 г. зарегистрировано 17 сортов мяты с высотой от 43-51,1 см («Ажурная», «Бергамотная») до 95-108 см («Розовская арома», «Весна»). Агрохимическая характеристика почвы или субстрата, на котором были выращены растения для регистрации, не указываются обычно в открытых источниках. С учетом отзывчивости мяты на минеральные

удобрения, указанные данные у сортов могут варьировать в зависимости от количества и доступности питательных элементов для растений.

1.5. Оценка сырья мяты перечной по ее физиолого-биохимическим характеристикам

Основными антиоксидантными компонентами мяты перечной являются компоненты эфирного масла, полифенолы, витамины, хлорофиллы и каротиноиды (Riachi, 2015; Aktsoglou et al., 2021).

Продукция из лекарственных и эфиромасличных растений регламентируется разными фармакопеями, а также различными стандартами (ГОСТ 31791–2017, ГОСТ Р 53593-2009). В России существует «Государственная фармакопея Российской Федерации». Многотомное издание представляет собой сборник стандартов и положений, определяющий показатели качества выпускаемых в РФ лекарственных субстанций и изготовленных из них препаратов, в том числе растительного происхождения. В последнем 15 издании отсутствует статья про растительное сырье из мяты перечной, но присутствует статья о качестве эфирного масла (Государственная фармакопея РФ, 2023). Статья про качество растительного сырья есть в предыдущей версии фармакопеи 14 издании с описанием показателей для подлинности и для качества продукции (Государственная фармакопея РФ, 2018). В российской версии разделяют лекарственное растительное сырьё и фармацевтические субстанции растительного происхождения. Последнее подразумевает под собой стандартизированное лекарственное сырьё либо различные вещества (биологически активные вещества, продукты вторичного метаболизма), получаемые в результате переработки первичного сырья. Также Государственная фармакопея содержит рекомендации к производству и культивированию растений и информацию о показателях качества растительного сырья (тяжелые металлы, зола общая, количественное определение эфирного масла и биологически активных веществ и др.) (Государственная Фармакопея РФ, 2018).

На данный момент главная цель промышленного производства мяты – это получение эфирного масла и аптечного листа. Для этого используют различные сорта, которые отличаются между собой как по ботаническим характеристикам, так и свойствами эфирных масел, которые затем получают из растений. Сорта, выведенные для получения аптечного листа, обычно имеют меньший выход эфирного масла. В Государственной фармакопее для эфирных масел выделена отдельная статья, в которой перечислены показатели для определения качества масла из мяты перечной (ОФС.2.4.0001).

Эфирные масла получают из разных частей растений и отличаются от обычных жирных растительных масел наличием летучих компонентов. Такие масла имеют специфический запах, вкус и высокую скорость испаряемости. Эфирные масла из лекарственных растений применяются во многих индустриях, но особое внимание уделяется тем продуктам, которые используются для медицинских и фармацевтических целей. Любое сырьё для производства лекарственных препаратов строго регламентируется. Необходимо знать качественный и количественный состав эфирных масел, так как он определяет их свойства. В состав эфирного масла мяты могут входить более 200 компонентов, из которых стабильно в доминирующих количествах находятся менее 5% компонентов от общего содержания, остальные обнаруживаются только в минорных (Шелепова и др., 2011). Некоторые из них могут вызывать аллергические реакции с различными симптомами (Sarkic, 2018).

Перед тем, как появились сложные методы изучения эфирных масел, использовались более простые методы, которые сейчас называют классическими. В них входили химические показатели (эфирное и кислотное число, эфирное число после ацетилирования и т.д.) и физические показатели (плотность, угол вращения поляризованного света, показатель преломления, температуры замерзания, плавления, кипения). Некоторые показатели применяются до сих пор для стандартизации эфирных масел и указаны в Государственной фармакопее РФ. Ранее количество главных компонентов эфирных масел определяли классическими химическими методами, например,

использовалась экстракция фенолов водными растворами щелочей (Писарев, 2012). На данный момент, количественный состав эфирных масел определяется, в основном, с помощью газовой хроматографии (Бугаенко, 2010; Шелепова и др., 2011).

Листья мяты являются одним из важных органов данного растения. Они имеют наибольшую массу от общей массы растения, соответственно, выход эфирного масла, а также его оптимальное качество (Кириченко, 2008). Они также подлежат контролю качества. В первую очередь растительное сырье анализируется на содержание тяжелых металлов и токсичных элементов. Контролю подлежат четыре элемента: свинец, ртуть, кадмий, а также мышьяк (Государственная Фармакопея РФ, 2018). Важным показателем является процент общей золы в листьях. Он также нормируется в Государственной Фармакопее РФ и не должен превышать 14% (Государственная Фармакопея РФ, 2018). Обычное содержание золы в листьях мяты составляет около 9-10% (Пояркова, 2020).

У растений для адаптации к стресс-факторам есть два параметра, которые свидетельствуют о защитных реакциях растений: первый – это увеличение активности антиоксидантных ферментов, второй – накопление низкомолекулярных метаболитов из группы ФС (флавоноиды), которые выполняют защитные функции в растениях (Маланкина, 2018).

Одной из важных групп соединений для мяты являются фенольные соединения. Они являются вторичными метаболитами, и к ним относят широкий класс веществ, в состав которых входит ароматическое кольцо и одна или несколько гидроксильных групп (Борисова и др., 2024). Несмотря на то, что фенольные соединения относят к продуктам вторичного метаболизма, некоторые из них участвуют в фотосинтезе и дыхании (флавоноиды, антоцианы), входят в состав клеточных стенок (лигнин) (Борисова и др., 2024), а также их часто рассматривают в качестве косвенного показателя антиоксидантной способности растений из-за их способности оказывать воздействие на свободные радикалы (Aktsoğlu, 2021). В связи с этим в некоторых растениях содержание фенольных соединений рассматривается как показатель уровня стресса растений (Соловьева, 2019). Например, уровень фенольных соединений свидетельствует об

устойчивости к воздействию тяжелых металлов у растений относительно контроля. В этом случае возрастание фенольных соединений может быть объяснено через два механизма: 1) лигнификация клеточных оболочек (ограничивает поступление ТМ в клетки; 2) детоксикация тяжелых металлов через образование комплексов с фенолами в вакуолях (Яхин и др., 2014). Однако содержание подобных веществ различно у разных видов, например, в листьях мяты перечной уровень фенольных соединений с антиоксидантными свойствами больше, чем у шалфея лекарственного и лаванды узколистной (Чупахина и др., 2012). Кроме того они входят в состав эфирного масла мяты, чей компонентный состав весьма обширен и включает в себя десятки и сотни соединений (Кириченко, 2008; Савченко, 2021; Бекбулатова, 2025). По данным ряда авторов (Кириченко, 2008; Маланкина, 2018) у мяты перечной содержание и состав фенольных соединений может повышаться на протяжении фазы бутонизации и фазы цветения, при этом есть исследования, которые указывают на обратное (Савченко, 2021). Процесс накопления ФС сложен и до конца не исследован. Он может зависеть не только от фазы развития растения, но и питания растения, внесенных удобрений и факторов среды произрастания. Например, внесение в почву хелатных удобрений железа уменьшают содержание ФС (Романова, 2019). На одну из групп фенольных соединений – флаваноидов – большое влияние оказывают свет и температура (Маланкина, 2018). Для определения ФС используют различные методики, в основном на базе спектрофотометрических подходов с применением хлорида алюминия, реактива Фолина-Чокальтеу и др. и соответствующих стандартов (лютеолин, галловая кислота) (Скрыпник и др., 2019; ФС.2.5.0029.15). Также применяют амперометрический метод, используя в основе стандарт кверцетин (вещество группы флавоноидов) (Чупахина и др., 2012). Из фенольных соединений в мяте присутствуют в большей степени следующие соединения: розмариновая кислота (10,6-176,8 мг/г), эриоцитрин (2,7-182,6 мг/г), лютеолин-7-О-глюкозид (3,2-90,8 мг/г) (Бекбулатова, 2025). Флавоноиды в мяте перечной могут занимать до половины от содержания суммы полифенолов (Маланкина, 2018). Для определения отдельных

фенольных соединений могут применяться методы ВЭЖХ, например, для розмариновой кислоты (Бекбулатова, 2025).

Хлорофилл а – это пигмент, отвечающий за зеленый цвет растений. Чем его больше, тем более зелеными выглядят растения, так как он отражает свет в зеленой части спектра. Хлорофилл b может выполнять вспомогательную функцию в фотосинтезе, например, при недостаточном освещении его содержание в растениях увеличивается. Так как он отвечает за поглощение света в другом диапазоне спектра, чем хлорофилл а, то таким образом растения увеличивают потенциал получения солнечного света. Хлорофиллы могут не проявлять сильной антиоксидантной активности, однако их высокая концентрация в растительных тканях содействует общему антиоксидантному потенциалу растения (Aktsoğlu et al., 2021).

Каротиноиды вместе с хлорофиллами относятся к жирорастворимым пигментам, и также могут свидетельствовать об антиоксидантной способности растений (Straumite, 2015).

В процессах фотосинтеза хлорофилл выступает в качестве главного компонента по улавливанию солнечной энергии и превращения ее в химическую. Интересен его состав. Например, по 4 атома азота входят в состав хлорофиллов а и b. Содержание хлорофилла а и b положительно коррелирует с внесением в почвогрунт элементов питания, особенно азотных и фосфорных удобрений. Уровень каротиноидов и других пигментов в растениях, может значительно увеличиться при высоких дозах азота и калия в почвогрунтах (Sanghamitra, 2015; Gupt, 2025). Кроме традиционных форм удобрений на фотосинтез и пигменты оказывают влияние биостимуляторы. Биостимуляторы на основе гуминовых веществ увеличивают активность фермента RuBisCO, что свидетельствует о стимуляции гуминовыми веществами фотосинтетической способности растений, поскольку более высокая активность обычно соответствует более высокой скорости фотосинтеза и продуктивности (Ertani, 2019).

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для изучения влияния фоллиарной обработки лигногуматом и лигносульфонатом в двух дозах на физиолого-биохимические показатели мяты перечной на территории МГУ имени Ломоносова были заложены многолетний мелкоделяночный (опыт 1) и ежегодно повторяемые вегетационные опыты (опыт 2). Исследования проводили в течение 3-х лет в 2022-2024 гг. (Журбицкий, 1968; Минеев, 2001). Основная задача вегетационного опыта заключалась в извлечении корневой массы и оценке ее морфологических параметров.

В исследовании изучаемыми объектами были мята перечная *Mentha piperita* L., препарат лигногумат марки АМ (производитель ООО НПО «Реализация экологических технологий», Санкт-Петербург) и порошок лигносульфонат (производитель АО «Соликамскбумпром», г. Соликамск, Пермский край). Данный лигногумат был произведен из применяемого в опыте лигносульфоната, который является отходом производства целлюлозно-бумажной промышленности. Кроме органической части он содержит ряд питательных элементов, обычно представлен в форме порошка и хорошо растворяется в воде (Луговицкая, 2014). 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.

Для фоллиарной обработки растений применяли лигногумат и лигносульфонат в виде водных растворов в двух дозах: 0,01 % и 0,05 % до полного смачивания листовой пластины дважды с интервалом в 10 дней. Навеску препаратов растворяли в воде непосредственно перед обработкой. Фоллиарные обработки проводили в фазы образования подземных побегов (корневищ) и ветвления в последнюю декаду августа и первую декаду сентября в первый год вегетации; в первые две декады июня во второй и третий год вегетации.

Схема для мелкоделяночного и вегетационных опытов была единой и состояла из 10 вариантов в трех повторностях (табл. 1). Далее для удобства в таблицах и рисунках с результатами использованы сокращения: NPK – внесение азота, фосфора и калия в почвогрунт; Лг1 — фолиарная обработка лигногуматом в концентрации 0,01%; Лг2 — фолиарная обработка лигногуматом в концентрации 0,05%; Лс1 — фолиарная обработка лигносульфонатом в концентрации 0,01%; Лс2 — фолиарная обработка лигносульфонатом концентрации в 0,05%; МЭ – внесение хелатов цинка и меди в почвогрунт.

Таблица 1. Схема мелкоделяночного и вегетационных опытов с мятой перечной для исследований в 2022 - 2024 гг.

Варианты	Концентрация водного раствора	
	Лг	Лс
Контроль (без удобрений)	нет	нет
NPK+МЭ	нет	нет
NPK	0,01%	нет
NPK+ МЭ	0,01%	нет
NPK	0,05%	нет
NPK+ МЭ	0,05%	нет
NPK	нет	0,01%
NPK+ МЭ	нет	0,01%
NPK	нет	0,05%
NPK+ МЭ	нет	0,05%

Минеральные удобрения с азотом (аммиачная селитра), фосфором (двойной суперфосфат) и калием (сульфат калия) вносили в дозах N60P60K120 согласно рекомендациям Л.В. Кухаревой (Кухарева, 1989). Оптимум для

содержания микроэлементов в мяте не установлен. Он зависит как от видовых и сортовых особенностей растения, так и от уровня агротехники и соотношения элементов питания. Было принято решение исследовать реакцию мяты на повышенное содержание цинка и меди в почвогрунте при воздействии на нее гуминовыми веществами. В качестве опорных значений по внесению были взяты эффективные дозы из исследования В.В. Сухоцкой (Сухоцкая, 2020) – 1 ПДК для меди и 0,5 ПДК для цинка.

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 мелкоделяночного опыта была расположена на участке, прилегающем к почвенному стационару МГУ им. М.В. Ломоносова. Время проведения: август–сентябрь 2022 г., май–август 2023 г. и май–июль 2024 г. Расположение делянок рандомизированное (Доспехов, 2011).

В мелкоделяночном опыте 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. (Шуваева, 2013; Мустяцэ, 1985) на подготовленную площадку с размером делянок 0,25 м² (Туликов, 2005). На площадке была произведена замена старого почвогрунта на новый почвогрунт на глубину 20 см., который являлся искусственным смесовым грунтом по ГОСТ Р 53381-2009, следующего состава: торф, песок, суглинок, плодородный грунт в процентном соотношении (по объему) 20:10:10:60. На одну делянку приходилось 4 растения. Перед посадкой черенки замачивали в растворе фунгицида «Максим» (25 г/л флудиоксонил) с концентрацией 2 г/л.

Мята – это многолетнее растение, поэтому она оставалась расти на 2-й год (2023 г.) и 3-й год (2024 г.) исследования. Почвогрунт, на момент закладки опыта, имел следующие показатели: рН_{KCl} - 7,4, нитратный азот – 15,7 мг/кг, аммонийный азот – 46,0 мг/кг, подвижный фосфор – 542 мг/кг, подвижный

калий – 300 мг/кг, подвижный цинк (ААВ) – 37,3 мг/кг; подвижная медь (ААВ) – 10,7 мг/кг, подвижный свинец (ААВ) – 17,0 мг/кг.

В качестве минеральных удобрений вносили традиционные удобрения: аммиачную селитру (60 N по д.в. кг/га), простой суперфосфат (60 P₂O₅ по д.в. кг/га), сульфат калия (120 K₂O по д.в. кг/га), хелат меди (9,4 Cu по д.в. кг/га) и хелат цинка (21,4 Zn по д.в. кг/га) (Кухарева, 1989; Сухоцкая, 2020).

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

Вегетационный опыт проводили на базе кафедры агрохимии и биохимии растений факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова в вегетационном домике (Москва) с целью оценки массы корней и корневищ по схеме опыта 1. Время проведения: август–сентябрь 2022 г., май–август 2023 г. и июнь–июль 2024 г.

Вегетационный опыт закладывали ежегодно в 2022 - 2024 гг. В качестве субстрата использовали торф «Агробалт» раскисленный. Характеристика торфа согласно производителю: фракция 0-20 мм, рН_{H2O} 5,5-6,6. Объем сосудов составлял 3,5 л. Полив растений проводили по мере необходимости до 75–80 % ППВ, в сосуде выращивали одно растение. Для посадки использовали черенки растений, длиной 10-12 см. Перед посадкой черенки замачивали в растворе фунгицида «Максим» (25 г/л флудиоксонил) в концентрации 2 г/л, перед посадкой черенков торф проливали таким же раствором.

В качестве минеральных удобрений вносили: аммиачную селитру 0,5 г/кг (0,2 г N/кг по д.в.), простой суперфосфат 0,65 г/кг (0,2 г P₂O₅/кг по д.в.), сульфат калия 0,72 г/кг (0,4 г K₂O/кг по д.в.), хелат цинка 0,4 г/кг (0,07 г Zn/кг по д.в.) и хелат меди 0,18 г/кг (0,03 г Cu/кг по д.в.).

2.3. Методы исследования растений и почвогрунта

Надземную массу измеряли как в вегетационном, так и в мелкоделяночном опыте непосредственно в день уборки. Время уборки определяли началом цветения растений, когда распускались 50-75% цветов (Кириченко, 2008;

ГОСТ Р 53593-2009). Растения в мелкоделяночном опыте срезали на уровне 10-12 см от поверхности почвы (ГОСТ 31791-2017). Измерения подземной массы проводили только для вегетационного опыта: в течение 3 дней после среза надземной массы, корни и корневища аккуратно отряхивали от комков торфа и промывали на сите под слабой проточной водой. Потом давали стечь воде, излишки влаги убирали фильтровальной бумагой и измеряли вес свежей массы. Измерения сухой массы надземных и подземных органов растений проводили после фиксации и высушивания растительного материала. Свежесрезанные растения раскладывали на фильтровальную бумагу и фиксировали в день уборки по общепринятой методике 10 мин. при температуре 90 ° С (Минеев, 2001).

Количество соцветий считали в день уборки, измеряли свежую массу в тот же день, затем проводили фиксацию и сушку, как для остальных вегетативных частей растений (Минеев, 2001; Руководство по проведению регистрационных испытаний..., 2016).

Площадь листа с 3 узла измеряли с помощью приложения «Petiole» за 10-14 дней до срезки растений (Руководство по проведению регистрационных испытаний..., 2016).

Пигменты (хлорофилла а, хлорофилла в и каротиноидов) в листьях определяли фотометрически в вытяжке из 100% ацетона (Третьяков и др., 1990). Анализируемые образцы представляли собой свежий растительный материал (3 пара листьев с верхушки стебля), который собирали за 2 недели до уборки опыта.

Суммарное содержание фенольных соединений определяли в спиртовой вытяжке с реактивом Фолина-Чокальтеу и пересчетом на галловую кислоту (Николаева и др., 2021; Поздняков и др., 2023; Цибизова, 2024) в модификации для мяты. Навеску сухого растительного материала в количестве $0,20 \pm 0,01$ г помещали в стеклянную пробирку и приливали 7,5 мл 96% этанола, перемешивали и помещали на 45 минут в термостат, предварительно нагретый до 45-50 ° С. Инкубированные пробы переносили в центрифужные пробирки и центрифугировали при скорости 11000 об./мин. в течение 2-3 минут. Далее производили смешивание аликвоты и реактивов для измерения оптической

плотности в строгой последовательности: надосадочную жидкость в объеме 0,5 мл переносили в чистую пробирку, приливали 0,5 мл реактива Фолина-Чокальтеу и 10 мл дистиллированной воды. Смесь тщательно перемешивали, добавляли 1 мл насыщенного раствора карбоната натрия Na_2CO_3 (20%), снова перемешивали и засекали время ожидания не менее 45 минут для появления устойчивой окраски. Анализируемый раствор фотометрировали при длине волны 760 нм с кюветой 10 мм. Содержание суммы фенольных соединений рассчитывали по градуировочному графику. Для него использовали 6 градуировочных растворов с концентрацией галловой кислоты в пересчете на навеску 25 мкг/мл, 50 мкг/мл, 75 мкг/мл, 100 мкг/мл, 150 мкг/мл, 200 мкг/мл – для каждого раствора была определена масса кислоты, которая бралась на аналитических весах до 0,0001 г, навеску переносили в колбу на 50 мл, растворяли в 95% этиловом спирте и им же доводили до метки.

В фиксированных сухих листьях нитраты определяли потенциометрическим методом. Перед проведением анализа была проведена подготовка иономера «Эксперт-001» (Россия) и его калибровка в соответствии с методикой (ГОСТ 13496.19-93; Дурьнина, Егоров, 1998).

Содержание цинка, меди, свинца в растительных образцах исследовали после сухого озоления с растворением осадка в соляной кислоте (Минеев, 2001; ОФС 1.5.3.0009). Общую золу в листьях определяли согласно фармакопейной статье ОФС 1.2.2.2.0013.

Активность каталазы определяли титрованием перманганатом калия (Плешков, 1968).

Определение азота, фосфора и калия в листьях проводили из одной вытяжки. Азот, фосфор и калия в растениях определяли после мокрого озоления растительного материала в конц. серной кислоте с использованием хлорной кислоты в качестве катализатора по методу Гинзбург: азот – методом Кьельдаля, фосфор – фотометрически с окрашиванием по Дениже, калий – на пламенном фотометре (Минеев, 2001).

Для дальнейшего исследования отбирали смешанные образцы почвогрунта по вариантам с глубины 5-15 см (ГОСТ Р 58595-2019). При определении показателей и содержания элементов руководствовались техническими условиями для питательных грунтов и общепринятыми методиками (ГОСТ 26483-85; ГОСТ Р 50686-94; ГОСТ Р 50683-94; ГОСТ Р 53381-2009; Минеев, 2001): подвижные формы фосфора и калия из вытяжки по Кирсанову, подвижные формы цинка, меди и свинца из ацетатно-аммонийного буфера рН 4,8 и солевая вытяжка для рН_{KCl}. Аммонийный азот фотометрически и нитратный азот по методу Грандваль-Ляжу определяли по методикам из «Практикума по агрохимии» (Минеев, 2001).

Все фотометрические исследования проводили на фотометре КФК-3-01 «ЗОМЗ» (Россия), калий в листьях и в почвогрунте измеряли на фотометре «ЛЕКИ FP640» (Финляндия), цинк, медь и свинец во всех исследуемых образцах анализировался на приборе ААС-3 «Hitachi» (Япония).

Метеорологические условия отслеживались по суточным температурам и осадкам, которые были предоставлены Метеорологической обсерваторией МГУ (МОМГУ). На основе этих данных был рассчитан гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) (Селянинов, 1928). Значения ГТК за период вегетации растений в течение исследования представлены в таблице 2. Средние значения ГТК за вегетационный период составили: в 2022 г. – 0,56 (очень засушливо), в 2023 г. – 1,85 (избыточное увлажнение), в 2024 г. – 1,54 (достаточное увлажнение). Информация по среднесуточным температурам и осадкам по декадам представлена в приложении (табл. П.1, табл. П.2).

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». На всех графиках представлены усредненные данные по повторностям с указанием стандартного отклонения для каждого варианта. Коэффициент накопления элементов был рассчитан по содержанию элементов в листьях и содержанию элементов в почвогрунте (Уткин, 2008).

Таблица 2. Значения гидротермического коэффициента (ГТК) по годам исследования в период вегетации растений в опытах с разбивкой по месяцам

Период		ГТК по месяцам	ГТК за вегетационный период
2022 г.	август (с 13 августа)	0,02	0,56 (очень засушливо)
	сентябрь	1,72	
2023 г.	май	0,72	1,85 (избыточное увлажнение)
	июнь	1,62	
	июль	3,22	
	август (по 5 августа)	0,32	
2024 г.	май	0,50	1,54 (достаточное увлажнение)
	июнь	2,80	
	июль (по 27 июля)	0,86	

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ¹

3.1. Опыт 1. Изменение физиолого-биохимических показателей мяты перечной при внесении удобрений в почвогрунт и фолиарной обработке лигногуматом и лигносульфонатом растений в мелкоделяночном опыте

Внесение в почвогрунт минеральных удобрений и фолиарная обработка лигногуматом и лигносульфонатом однозначно имели влияние на сырую и сухую массы надземной части мяты: стебель, листья и соцветия. Растения были убраны во время цветения 50-75% цветов в 2023 - 2024 гг. и осенью в 2022 г. Общая минимальная сырая масса растений была в первый год вегетации, максимальная сырая масса у большинства вариантов - на третий год (разница между 2022 г. и 2024 г. по вариантам опыта составляет от 44,3 до 243,6 раз).

Минимальное накопление массы в первый год исследования было связано с низкими суточными температурами во время вегетации растений (табл. 3). Известно, что при температуре меньше 10 °С мята замедляет свой рост (Кириченко, 2008), а минимальные температуры в количестве 28 суток приходились на ночное время, когда растения наращивают массу в ночное время суток во время темновой фазы фотосинтеза. Кроме того, в августе во время вегетации растений 17 суток имели максимальную температуру выше 25 С, что также является фактором, замедляющим рост. Еще один фактор, замедляющий рост растений – длина светового дня и интенсивность солнечного света. Для нормального роста мяты оптимальное время с солнечным освещением составляет 12-14 часов (Мустьяцэ, 1985). В первый год исследования большая

¹ Ключевые результаты, представленные в данной главе, были опубликованы автором в рецензируемых научных журналах, рекомендованных для использования при защите диссертации в диссертационном совете МГУ имени М.В. Ломоносова:

1. **Валешняя Д. В.**, Пашкевич Е. Б. Влияние фолиарной обработки лигногуматом и лигносульфонатом на мяту перечную, выращенную в условиях загрязнения почвогрунта свинцом // *Агробиохимический вестник*. – 2025. – № 1. – С. 81-87. – DOI 10.24412/1029-2551-2025-1-015. – 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., **Валешняя 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. – DOI 10.26178/AE.2025.74.73.006. – EDN JQPUSZ. (Импакт-фактор 0,366 (РИНЦ)). (0,625/0,31)

3. Пашкевич, Е. Б., **Валешняя Д. В.** Оценка содержания фотопигментов в листьях мяты перечной после фолиарной обработки растений лигногуматом и лигносульфонатом // *Плодородие*. – 2025. – № 5(146). – С. 32-36. – DOI 10.25680/S19948603.2025.146.06. – EDN VVZLGV. (Импакт-фактор 0,854 (РИНЦ)). (0,156/0,08)

часть вегетации растений пришлась на летне-осенний период, когда снижается солнечная активность и интенсивность солнечного света. Кроме климатического фактора на отличие массы мяты по годам оказала степень сформированности корневой системы (Кожевина, 2004). В первый год после посадки она была сформирована слабо, а в 2023-2024 гг. растения достаточно укоренились, что отразилось на массе растений.

Таблица 3. Вес сырой мяты перечной после ежегодной срезки урожая на мелкоделяночном опыте, ц/га. Данные по проверке допущений для ОДА на однородность дисперсий по критериям Хартли, Кохрена и Бартлетта приведены в приложении (таблица П.19)

Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Отклонение от контроля, %		
				2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	1,8	75,3	142,7	100	100	100
НРК + МЭ	3,7	214,7	265,3	+106	+185	+86
Лг1 + НРК	2,5	220,7	254,0	+39	+193	+78
Лг1 + НРК + МЭ	4,1	198,0	336,1	+128	+163	+136
Лг2 + НРК	1,1	138,7	268,0	-39	+84	+88
Лг2 + НРК + МЭ	4,2	250,7	269,3	+133	+233	+89
Лс1 + НРК	3,6	142,7	212,0	+100	+90	+49
Лс1 + НРК + МЭ	5,0	182,7	296,0	+178	+143	+107
Лс2 + НРК	2,1	125,3	252,7	+17	+66	+77
Лс2 + НРК + МЭ	5,1	226,7	226,0	+183	+201	+58
НСР_{0,10}	2,4	88,4	76,9	-	-	-
F	2,00	2,32	2,68	-	-	-

Отмечено, что внесение удобрений эффективно при длинном вегетационном периоде с оптимальными температурами для мяты. По разнице значений в 2022 г. и в 2023 - 2024 гг. заметно, что растения 1-го года вегетации не накопили вегетативную массу из-за условий окружающей среды.

Хотя для сырой массы 2022 г. F-тест по ОДА больше табличного, он едва превышает его ($2,00 > 1,96$). ОДА показал, что статистически фактор «минеральные удобрения и фолиарная обработка» оказал влияние на данные по сырой массе за 2022 г. (отличие вариантов от контроля на +17...+178%), за 2023 г. (отличие вариантов от контроля на +66...+201%) и за 2024 г. (отличие вариантов от контроля на +49...+136%). Для сухой массы растений также обнаружены значимое влияние фактора за исключением веса сухой массы за 2022 г. Для этого года ОДА не подтвердил достоверных различий между вариантами ($F 1,91 < 1,96$).

Согласно ОДА есть три пары вариантов, у которых средние достоверно отличались с контролем при уровне значимости 0,01 на протяжении трех лет: 1) вариант с фолиарной обработкой лигногуматом 0,05% с внесением NPK и микроэлементов (разница за три года между ними составляет от 88,8 до 232,9%); 2) вариант с фолиарной обработкой лигносульфоната 0,01% с внесением NPK и микроэлементов (разница за три года между ними составляет от 107,5 до 177,8%); 3) вариант с фолиарной обработкой лигносульфоната 0,05% с внесением NPK и микроэлементов (разница за три года между ними составляет от 58,4 до 201,1%). Данные варианты между собой не имели значимых различий за 3 года исследований. Все их объединяет дополнительное внесение микроэлементов цинка и меди. Известно, что цинк и медь положительно влияют на накопление вегетативной массы растениями. Цинк влияет на процесс синтеза хлорофилла, а медь входит в состав окислительных ферментов и усиливает фотосинтетическую активность (Минеев, 2004). Вариант без фолиарных обработок, но с внесением NPK и микроэлементов значимо различался с контролем в 2023 г. и 2024 г. (больше контроля в 2023 г. на 185,1%, в 2024 г. на 86,0%); при этом не обнаружено значимых различий по разнице средних между

этим вариантом с вариантами, на фоне NPK+MЭ и фолиарными обработками растений. Тем не менее, самыми продуктивными вариантами по сырой массе были варианты с внесением микроэлементов. Нельзя сделать однозначный вывод, какое из двух применяемых биостимуляторов было эффективней относительно массы растений – например, анализ НСР показал, что между лигногуматом и лигносульфонатом в дозировке 0,05% с полным минеральным питанием и с внесением микроэлементов различий нет. Значимая разница между средними вариантами есть на разном минеральном питании.

Сухая масса мяты коррелирует с сырой с коэффициентом корреляции: в 2022 г. $r=0.95$, в 2023 и 2024 гг. $r=0.99$. Однако, для данных за первый год исследования ОДА показал, что фактор удобрений и фолиарных обработок не влияет на сухую массу (F-критерий $1,91 < 1,96$). Это может быть связано с тем, что растения не успели набрать критическую массу для обнаружения различий и разным уровнем влагоудержания у разных вариантов. Кроме того, сухая масса характеризует способность растения накапливать первичные ассимилянты, образующиеся в процессе фотосинтеза. За 2022 г. самый большой сухой вес 1,1 ц/га был у варианта с обработкой лигносульфонатом 0,05% на фоне NPK и цинка с медью, что составляет прибавку по сравнению с контролем в 2,8 раз. На второй год вегетации данный вариант был только вторым по величине массы, так как самое большее значение было у варианта с обработкой лигногуматом 0,05% на фоне NPK и цинка с медью – 23,6 ц/га, прибавка составила 2,8 раз. Расчет НСР для сухой массы второго года для контроля совпадает с результатами для сырой массы этого же периода (табл. 4). Несмотря на то, что действие фактора удобрений не выявлено для сухой массы 2022 г., по значениям НСР получено, что за два года значимые различия между вариантами повторяются для тех же пар вариантов по показателю сырой массы, а также добавляется комбинация лигногумата 0,05% на фоне NPK и лигносульфоната 0,05% на фоне полного минерального питания с микроэлементами. Они отличаются между собой в 5,5 раз. По соотношению сырой и сухой массы можно сделать вывод, что

лигногумат и лигносульфонат в дозе 0,05% способны увеличить поглощение растениями питательных веществ.

Таблица 4. Вес сухой мяты перечной после ежегодной срезки урожая на мелкоделяночном опыте, ц/га

Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Отклонение от контроля, %		
				2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	0,4	6,5	13,5	100	100	100
НРК + МЭ	0,8	19,4	27,2	+100	+197	+102
Лг1 + НРК	0,8	19,9	25,1	+100	+205	+86
Лг1 + НРК + МЭ	1,0	18,5	33,9	+150	+184	+152
Лг2 + НРК	0,2	12,5	26,5	-50	+92	+97
Лг2 + НРК + МЭ	1,0	23,6	26,2	+150	+261	+94
Лс1 + НРК	0,8	13,4	21,3	+100	+106	+58
Лс1 + НРК + МЭ	1,0	15,7	29,9	+150	+140	+122
Лс2 + НРК	0,4	11,9	26,0	0	+82	+93
Лс2 + НРК + МЭ	1,1	22,2	21,4	+175	+240	+59
НСР_{0,10}	0,5	7,4	7,2	-	-	-
F	1,91	3,04	3,49	-	-	-

При оценке тенденций полученных результатов по сырой и сухой массе выделяется вариант с фолитарной обработкой растений лигногуматом в дозе 0,05% на минеральном питании НРК. В первый год вегетации она имеет самые низкие значения – 1,1 ц/га для сырой массы и 0,2 ц/га для сухой массы, что ниже контроля в 0,6 раз для сырой массы и в 0,5 раз для сухой массы. На второй год он занимает третье место среди низких значений (138,7 ц/га для свежей массы и

12,5 ц/га для сухой массы), ниже него только контроль (75,3 ц/га для свежей массы и 6,5 ц/га для сухой массы) и вариант с концентрацией 0,05% лигносульфоната с NPK без микроэлементов (125,3 ц/га для свежей массы и 11,9 ц/га для сухой массы).

При анализе данных по сухой массе по двум концентрациям 0,01% и 0,05% на питании только с NPK обнаружено, что масса растений и в первый, и во второй год выше при дозе 0,01%, а при дозе 0,05% наблюдаются уменьшенные значения. В этой выборке разница свежей массы между лигногуматом в дозах 0,01% и 0,05% составляет 2,27 раз в 2022 году и 1,59 раз в 2023 г.; разница свежей массы между лигносульфонатом в дозах 0,01% и 0,05% составляет 1,72 раза в 2022 г. и 1,14 раз в 2023 г. Низкое значение для варианта с лигногуматом 0,05% в 2022 г. вероятно обусловлено более коротким вегетационным периодом и слабым развитием корневой системы.

На контрольном варианте возрастает сырая масса и сухая масса растений каждый год относительно предыдущего. Так как рост мяты зависит в большей степени от климатических условий (свет, температура, влажность), то динамику роста можно объяснить разницей ГТК: в июне 2023 г. он был равен 1,62, в июне 2024 г. он больше и равен 2,80. В июне заканчивалась фаза роста корневищ и начиналась фаза ветвления, что позволяет растениям набрать массу в это время. В июле наступала фаза бутонизации и фаза цветения, и рост уже не такой интенсивный. Данное явление наблюдали во всех вариантах, однако, разница в сырой массе и сухой за 2024-2025 гг. составляет 2 раза только у контроля и варианте с обработкой лигносульфонатом 0,05% с внесением NPK. В остальных вариантах разница составляет около 1,5 раз за исключением варианта с обработкой лигносульфонатом 0,05% с внесением NPK и цинка с медью. Для этого варианта вес сырой и сухой массы остался на прежнем уровне (сырая масса 2023 г. равна 226,7 ц/га; сырая масса 2024 г. равна 226,0 ц/га; сухая масса 2023 г. равна 22,2 ц/га; сухая масса 2024 г. равна 21,4 ц/га).

Для оценки действия удобрений были посчитаны количество соцветий мяты перечной на каждом варианте в 2023 г. и 2024 г. (рис 1, табл. П.3.).

Наименьшее количество соцветий за 2 года было у контрольного варианта (61 шт./0,25 м² в 2023 г. и 266 шт./0,25 м² в 2024 г.). Цинк и медь оказали значимый эффект на цветения – самые большие значения принадлежат вариантам с внесением микроэлементов: в 2023 г. такими вариантами были Лг2+НРК+МЭ (445 шт./0,25 м²), Лс2+НРК+МЭ (357 шт./0,25 м²) и Лг1+ НРК+МЭ (335 шт./0,25 м²); в 2024 г. большее количество соцветий было у Лг1+НРК+МЭ (777 шт./0,25 м²), Лс1+НРК+МЭ (691 шт./0,25 м²) и НРК+МЭ (655 шт./0,25 м²). 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. Положительный эффект от применения хелатной формы меди может быть обусловлен увеличением активности фермента полифенолоксидазы, в состав которого входит медь.

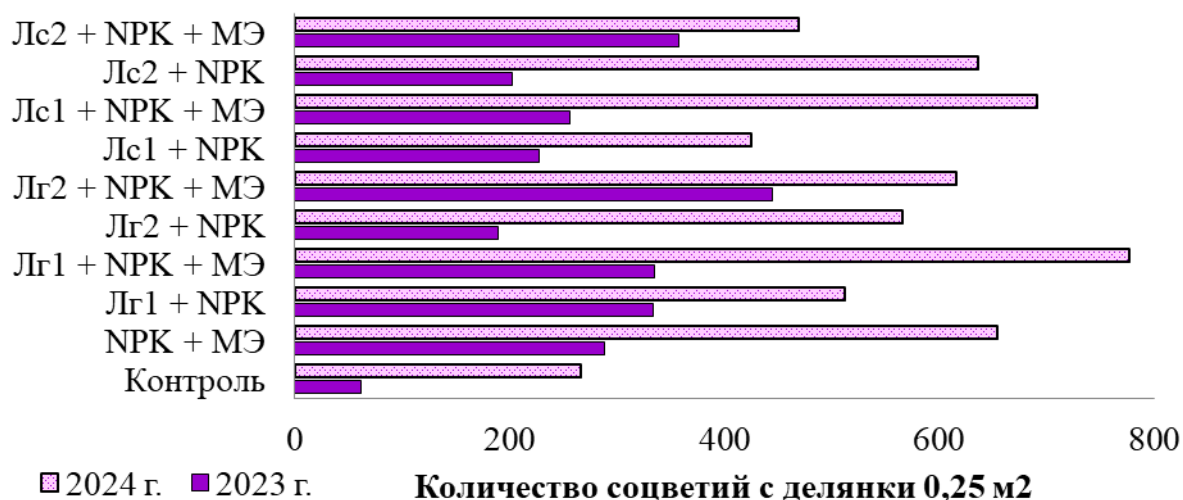


Рисунок 1. Количество соцветий мяты перечной с площади делянки, шт./0,25 м². ОДА за 2023 г.: НСР_{0,01}=150,0; F=3,4; ОДА за 2024 г.: НСР_{0,01}=193,8; F=3,85.

Сырая и сухая масса соцветий была измерена в 2024 г. Взвешивание свежесрезанной массы соцветий показало, что на варианте без фолиарной обработки и с внесением в почвогрунт полного минерального питания и хелатов цинка и меди число соцветий больше, чем на других вариантах, но без внесения цинка и меди (увеличение в 1,3-2,2 раза). Несмотря на то, что эти другие варианты с НРК были с применением фолиарной обработкой растений лигногуматом и лигносульфонатом, это не увеличило массу соцветий согласно

ДДА. Тем не менее, прослеживается разница в действии двух концентраций стимуляторов роста 0,01% и 0,05%. Первая концентрация 0,01% имела более высокие значения на вариантах с полным минеральным питанием и внесением цинка и меди в почвогрунт (+272% к контролю у лигногумата 0,01% против +150% у лигногумата 0,05%; +176% к контролю у лигносульфоната 0,01% против +111% у лигносульфоната 0,05%). Вторая концентрация 0,05% показала наибольшие значения в вариантах без применения цинка и меди (+102% к контролю у лигногумата 0,05% против +58% у лигногумата 0,01%; +123% к контролю у лигносульфоната 0,05% против +35% лигногумата 0,01%) (рис. 2, табл. П.4).

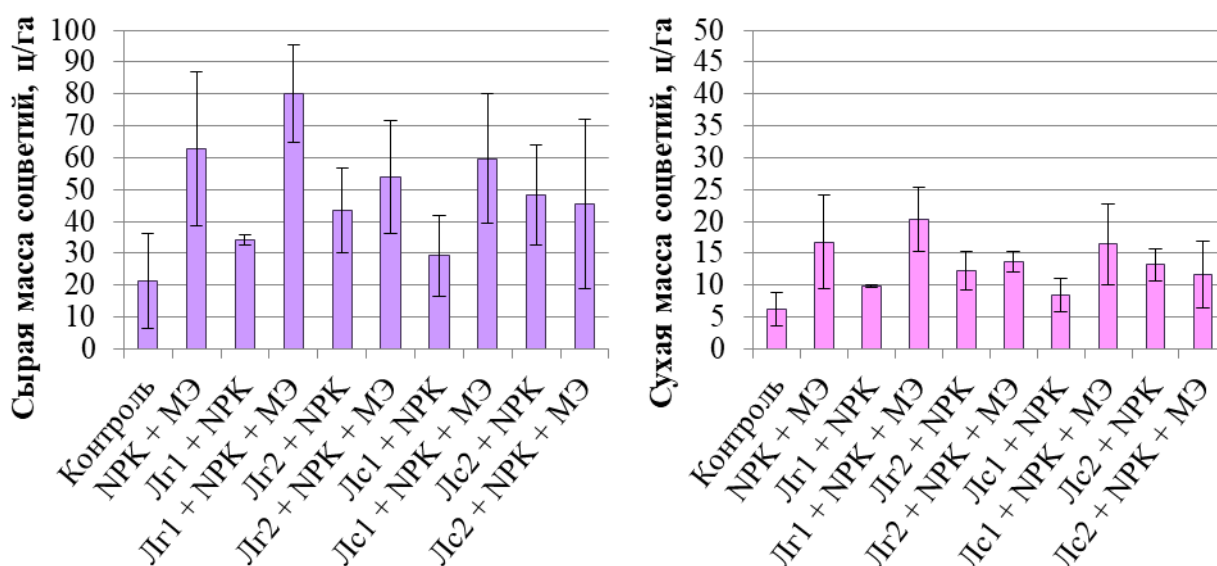


Рисунок 2. Сырая и сухая масса соцветий у мяты перечной при срезке растений после завершения мелкоделяночного опыта в 2024 г., г/га. ДДА при $\alpha=0,1$: 1) сырая масса соцветий $F_A=0,5$, $p_A=0,76$; $F_B=8,5$, $p_B=0,00$; $F_{AB}=2,3$, $p_{AB}=0,11$; 2) сухая масса соцветий $F_A=0,4$, $p_A=0,77$; $F_B=8,2$, $p_B=0,00$; $F_{AB}=2,6$, $p_{AB}=0,08$. Вертикальные линии – стандартное отклонение.

Площадь листьев является одним из значимых физиологических показателей у растений, на который влияет множество факторов (питание, освещение, обводненность и т.д.) Результаты исследования показали, что площадь листьев мяты перечной от 3 узла была наименьшей в первый год исследования (табл. 5). При этом коэффициент корреляции показывает, что в

этот период масса растений в большей степени зависела от площади листьев ($r=0.82$, сильная связь). Во второй и третий год связь между массой растений и площадью листьев очень слабая или отсутствует. Вероятно, значимый вклад в массу мяты перечной на 2 и 3 год произрастания оказывают другие морфометрические показатели и части растений (масса соцветий, количество листьев и т.д.)

Таблица 5. Площадь листа на 3 междоузлие от точки роста у мяты перечной, отбор листьев – первая неделя июля, мелкоделяночный опыт. Для коэффициента корреляции и коэффициента детерминации: площадь листа – независимая переменная, сырая масса растений – отклик

Вариант	Площадь листа, см ²			Отклонение от контроля, %		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	5,8	17,2	18,7	100	100	100
НРК + МЭ	11,3	18,7	14,3	+97	+9	-23
Лг1 + НРК	8,4	23,0	19,1	+47	+34	+2
Лг1 + НРК + МЭ	8,5	16,3	18,4	+48	-5	-2
Лг2 + НРК	6,0	20,8	15,6	+4	+21	-17
Лг2 + НРК + МЭ	7,6	18,5	19,5	+33	+8	+4
Лс1 + НРК	9,2	20,9	15,0	+59	+22	-20
Лс1 + НРК + МЭ	14,0	18,9	17,6	+143	+10	-6
Лс2 + НРК	8,3	15,6	15,1	+45	-9	-19
Лс2 + НРК + МЭ	13,9	18,3	17,7	+142	+7	-5
Коэффициент корреляции	0,82	0,24	0,01	-	-	-
Коэффициент детерминации	0,67	0,06	0,00	-	-	-

Содержание нитратов в растениях отражает азотное питание и подверженность растений стрессовым факторам. Хотя содержание нитратов в мяте не регламентируется, так как данная культура не является их накопителем, они отражают баланс метаболизма азота (Верниченко, 2016). За весь период исследования их содержание практически не меняется в варианте Контроль, максимальное значение этого показателя отмечено на вариантах ЛГ1+НРК и Лс2+НРК в 2022 г., на варианте Лс1+НРК+МЭ в 2023 г. и ЛГ2+НРК+ МЭ в 2024 г. Практически для всех результатов за 2023 г. характерно общее снижение этого показателя в диапазоне от 3,4 до 60,8% по сравнению с контролем. Незначительное снижение отмечено у варианта с обработкой лигносульфонатом 0,01% на фоне НРК + МЭ на 3,4% в сравнении с контролем (рис. 3, табл. П.5.). Самая большая разница в вариантах между 2022 г. и 2023 г. в 3,3 раза относится к обработке лигногуматом в дозе 0,01% и обработке лигносульфонатом в дозе 0,05% на варианте с НРК. Также значительная разница в содержании нитратов отмечена у варианта с лигногуматом 0,01% на фоне НРК и цинка с медью и варианта без фолиарной обработки на фоне НРК и цинка с медью – она составила 2,4 и 1,9 раз соответственно.

Вариативность данных по содержанию нитратов в растениях незначительно увеличивается для растений второго года – коэффициент вариации изменился на 5,8% (с 34,6 до 40,4%).

Возрастание нитратов в листьях отмечено в данных 2022 г. в целом во всех вариантах относительно второго и третьего года и особенно в трех вариантах в 2022 г. на 20,7-77,0% (лигногумат 0,01% на двух фонах и лигносульфонат 0,05% на фоне НРК), когда у растений было сокращение светового дня на 2-6 часов и более холодные температуры, чем в последующие периоды вегетации растений в 2023 г. и 2024 г. Во время активного роста растения интенсивно поглощают азот для метаболизма органических соединений. Повышение содержания нитратов является признаком того, что растение их накапливает и не использует в метаболизме. При снижении среднесуточной температуры окружающего воздуха

возможно увеличение количества нитратов в тканях растений. На данные за 2024 г. фолиарная обработка не оказала влияния ($F=1.9$; $p=0.2$ при $\alpha=0,1$)

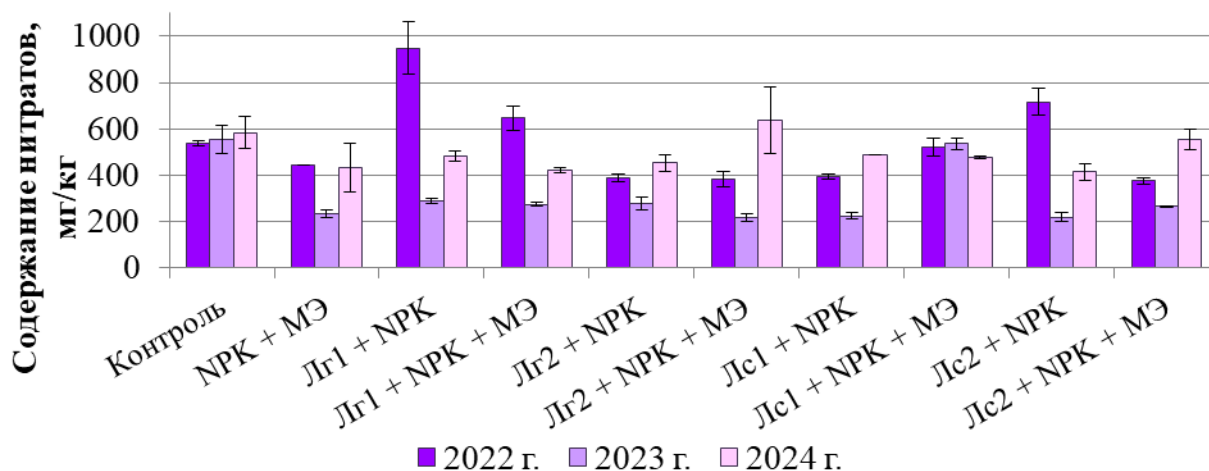


Рисунок 3. Содержание нитратов в листьях мяты перечной, мг/кг сухой массы. Вертикальные линии на графике – стандартное отклонение. ДДА при $\alpha=0,1$: 1) 2022 г. – $F_A=43.0$, $p_A=0.00$; $F_B=16.9$, $p_B=0.00$; $F_{AB}=22.8$, $p_{AB}=0.00$; 2) 2023 г. – $F_A=25.6$, $p_A=0.00$; $F_B=100.3$, $p_B=0.00$; $F_{AB}=45.6$, $p_{AB}=0.00$; 3) 2024 г. – $F_A=1.9$, $p_A=0.20$; $F_B=4.6$, $p_B=0.04$; $F_{AB}=3.4$, $p_{AB}=0.06$. Вертикальные линии – стандартное отклонение.

Содержание макроэлементов в листьях мяты перечной (азота, фосфора и калия) отличались их повышенным содержанием в первый год исследования. В сравнении с последующими двумя годам эксперимента разница в пользу первого года составила 1) по содержанию азота в 1,6-2,1 раз при сравнении с 2023 г. и в 1,8-2,3 раза при сравнении с 2024 г.; 2) по содержанию фосфора в 1,1-1,2 раза (для 5 из 10 вариантов) при сравнении с 2023 г. и в 1,3-2,5 раза с 2024 г.; 3) по содержанию калия в 1,4-1,8 раз при сравнении с 2023 г. и в 1,3-2,0 раз с 2024 г. (рис. 4, табл. П.6).

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, например, Лг2+NPR+МЭ имел значения 2,84% в 2022 г. и 1,50% в 2023 г.)

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.), что, вероятно, связано с эффектом ростового разбавления (рис. 4, табл. П.6). Мята влаголюбивая культура и хорошо реагирует на полив. Обильное увлажнение в июне 2024 г. (ГТК=2,80) позволило ей накопить надземную массу, а в июле 2024 г. (ГТК=0,86; засушливые условия) ей было недостаточно увлажнения, несмотря на дополнительный полив. Чтобы компенсировать недостаток влаги, растения, вероятно, наращивали подземные органы для ее поиска, а фосфор важен для корней. Таким образом, из-за перераспределения питательных веществ произошло снижение содержания фосфора в листьях. Вероятно, следует еще учитывать ростовое разбавление для объяснения полученных данных. Коэффициент накопления в Контроле имеет самые высокие значения при низкой общей массе растений (табл. 6).

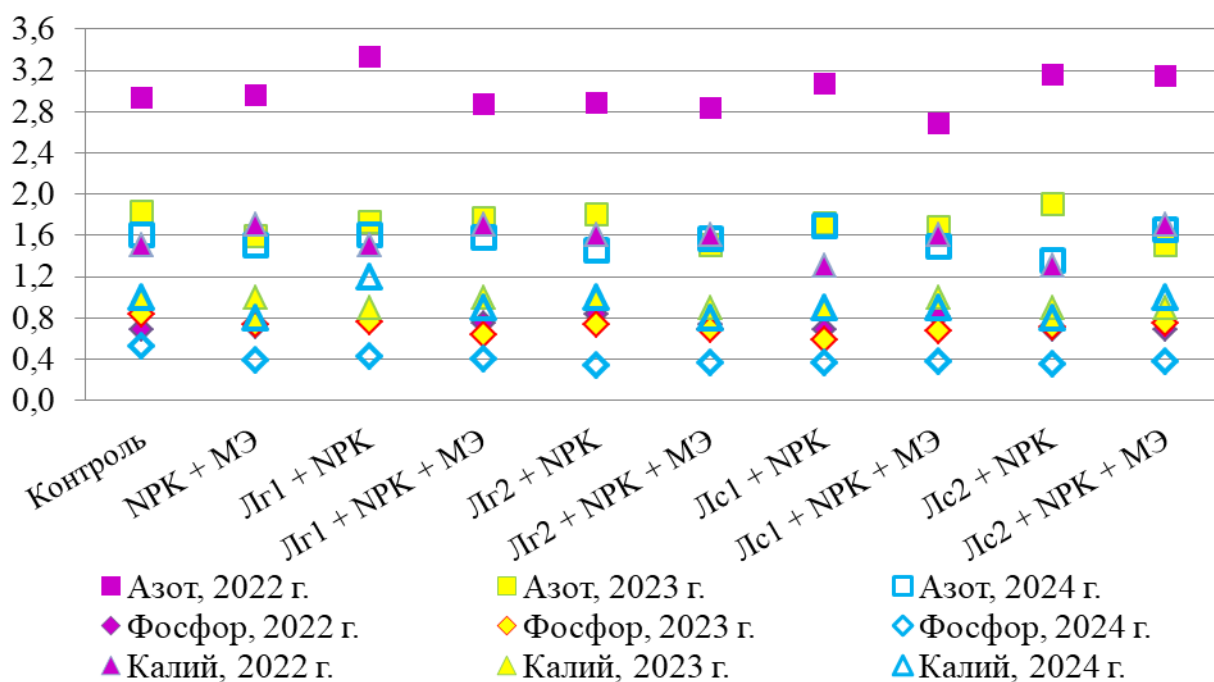


Рисунок 4. Содержание азота, фосфора и калия в листьях мяты перечной, % сухой массы. Вертикальные линии – стандартное отклонение (sd).

Содержание калия в листьях мяты перечной было ниже во второй год и в третий год вегетации 0,8-1,0%, чем в первый год произрастания 1,3-1,7%, так как образцы отбирались в фазу цветения растений и, вероятно, калий был

необходим в процессах образования бутонов и соцветий. На протяжении трех лет исследования у варианта с фолитарной обработкой лигносульфонатом 0,05% с внесением NPK наблюдалось пониженное содержание калия в листьях (1,3% в 2022 г., 0,9% в 2023 г., 0,8% в 2024 г.), что может быть причиной малой изменчивости массы растений в 2023 и 2024 гг. относительно друг друга (рис.4, табл. П.6).

По литературным данным, содержание азота, фосфора и калия в листьях зависит от видовых и сортовых особенностей мяты (Мустьяцэ, 1986) и может варьировать для мяты перечной в пределах 1,42-2,80%, 0,40-0,54%, 0,80-0,94%, соответственно (Босак, 2023), а, например, для мяты японской в пределах 3,98-4,55% для азота, 0,14-0,17% для фосфора и 0,96-1,40% для калия (Singh, 1970).

Таблица 6. Коэффициент накопления фосфора и калия мятой перечной в листьях, мелкоделяночный опыт

Вариант	Фосфор			Калий		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	0,005	0,004	0,003	0,009	0,006	0,010
NPK + МЭ	0,003	0,002	0,001	0,008	0,003	0,004
Лг1 + NPK	0,004	0,002	0,001	0,008	0,003	0,006
Лг1 + NPK + МЭ	0,003	0,001	0,001	0,009	0,003	0,003
Лг2 + NPK	0,004	0,002	0,001	0,008	0,004	0,007
Лг2 + NPK + МЭ	0,003	0,003	0,001	0,008	0,003	0,003
Лс1 + NPK	0,003	0,002	0,002	0,005	0,004	0,007
Лс1 + NPK + МЭ	0,003	0,003	0,001	0,008	0,004	0,004
Лс2 + NPK	0,003	0,002	0,001	0,008	0,005	0,005
Лс2 + NPK + МЭ	0,003	0,002	0,001	0,009	0,004	0,005

Для цинка и меди не указаны ограничения по их содержанию в растительном сырье, их содержание не регламентируется. Токсичный эффект от цинка, например, проявляется при его содержании в тканях растений 300-500 мг/кг сухого вещества в случае высоких концентраций в почве (Добровольский, 1992; Погорелов, 2021). Самое высокое содержание цинка в листьях было 39,9 мг/кг сухого вещества у варианта Лс1+НРК в 2022 г. и 37,4 мг/кг сухого вещества у Контроля в 2023 г. На 2-й год вегетации цинк в листьях мяты перечной имеет тренд к снижению его количества за исключением Контроля, варианта НРК+МЭ и варианта с обработкой лигносульфоната в дозе 0,05% с минеральными удобрениями и микроэлементами. В этих вариантах наблюдается повышение содержания цинка на 10,6 мг/кг, 15,2 и 6,5 мг/кг соответственно (рис. 5, табл. П.7). Коэффициенты накопления цинка растениями из вариантов Контроля (1,60) и НРК+МЭ (1,02) являются самыми высокими среди вариантов в 2023 г. (табл. 7). При этом на 3-й год вегетации количество цинка снижается или находится на том же уровне относительно предыдущего года. Медь снижается практически во всех вариантах в 1,2-2,2 раза в 2023 г. относительно 2022 г., за исключением варианта с минеральным питанием и микроэлементами без фолиарной обработки. Содержание меди в растениях незначительно повышается на второй год на 1,2 мг/кг. В 2024 г. этот элемент также снизился относительно предыдущего года в 1,2-2,7 раза.

Так как цинковые и медные удобрения вносили каждый год, а содержание цинка и меди в листьях стабильно снижалось год от года, то вероятно микроэлементы имеют тенденцию накапливаться в молодых растениях сильнее, чем в более старых растениях. Дополнительным фактором, оказавшим влияние на содержание цинка и меди в листьях, может быть ростовое разбавление. В 2024 г. масса растений была наибольшей за все годы исследования. Мята набирает массу в фазу кустистости, которая в исследовании пришлась на месяц июнь на второй и третий год исследования. Также мята очень восприимчива к климатическим условиям (Кириченко, 2008), что прослеживается в рассчитанном ГТК за июнь месяц: он равен 1,62 в 2023 г. и 2,80 в 2024 г. (табл.2). Такая же тенденция

отмечена в результатах вегетационного опыта по сырой массе растений (рис. 13, табл. П.15) и содержании цинка и меди в листьях мяты (рис.14, табл. 16).

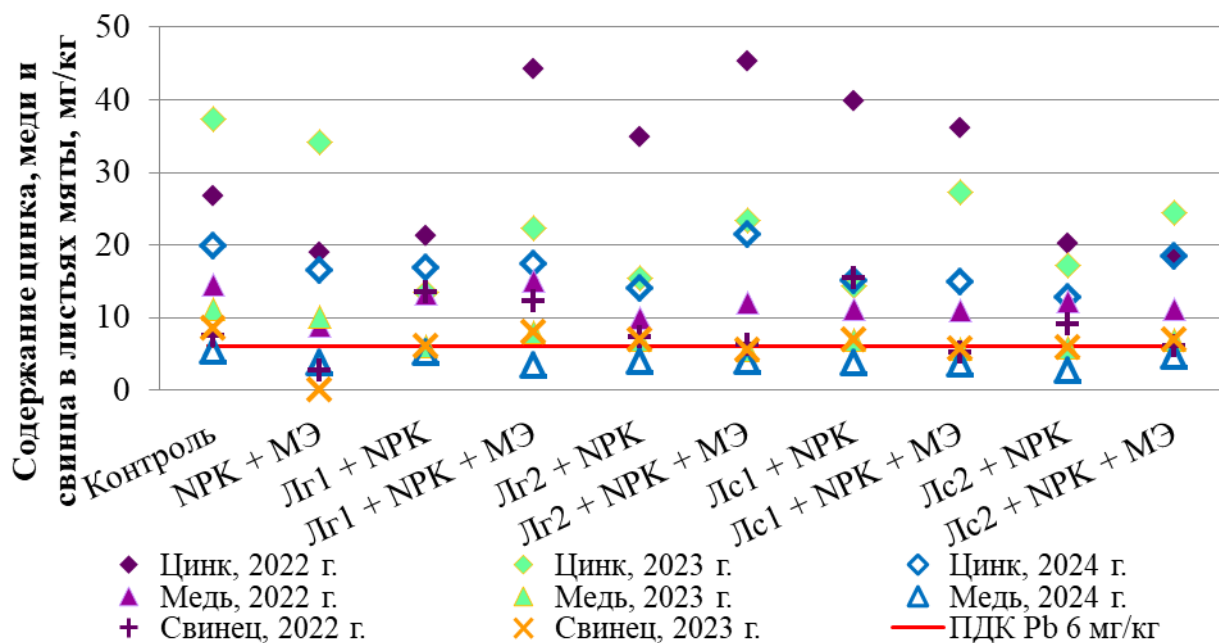


Рисунок 5. Содержание цинка, меди и свинца в листьях мяты перечной в мелкоделяночном опыте, мг/кг сухого веса. Вертикальные линии – sd.

Для свинца прослеживается тенденция к снижению его количества в растениях на второй год на 0,2-8,5 мг/кг. В контроле наблюдается, наоборот, увеличение содержания на 1,0 мг/кг. На третий год вегетации содержание свинца в листьях было ниже чувствительности прибора для атомно-абсорбционного анализа ($>0,05$ мг/кг) (рис. 5, табл.П.7). Свинец – это тяжелый металл и его содержание в лекарственном сырье строго регламентируется. ПДК для свинца в листьях мяты равняется 6,0 мг/кг (ОФС 1.5.3.0009). В 2023 г. листья мяты перечной в 4 вариантах из 10 имеют значения ниже 6,0 мкг/кг (ПДК), но для большинства вариантов содержание свинца остается выше ПДК на 1,0-2,5 мг/кг. Накопление элемента отмечено в варианте Контроля и в варианте с обработкой лигногумата 0,01% с НРК+МЭ. Содержание свинца снижено в большей степени у вариантов с внесением цинка и меди, в частности у варианта НРК+МЭ и варианта лигносульфоната 0,01% с НРК+МЭ. В отличие от цинка и меди, дополнительно свинец не вносили в почвогрунт, его вклад в содержание в листьях определялся по остаточному принципу, и в варианте с минеральным питанием и без

фолиарной обработки его содержание на второй год значительно снизилось на 2,7 мг/кг. Снижение содержание свинца в листьях возможно связано с тем, что корневая система менее интенсивно поглощала тяжелый металл поверхностной корневой системой. Кроме прочего, свинец является элементом-антагонистом для цинка (Уткин, 2009).

На второй год выращивания динамика на содержание рассматриваемых элементов в листьях снижается в среднем на 42,95% для цинка, на 37,55% для меди и на 32,01 % для свинца (относительно Контроля), что обусловлено их выносом вместе с массой растений. Динамика на снижение содержания этих элементов также сохраняется на третий год вегетации растений. В 2023 г. самые низкие значения по содержанию меди в листьях отмечены у двух вариантов – это обработка лигногуматом 0,05% с NPK и микроэлементами (5,5 мкг/кг), а также лигносульфонатом 0,01% с NPK и микроэлементами (5,6 мкг/кг). Повышенное содержание цинка, меди и свинца в Контроле объясняется эффектом под названием «ростовое разбавление». Данные за 2023-2024 гг. хорошо иллюстрируют это явление, так как растения имели большую вегетационную массу и имели больше времени на адаптацию и рост. Ростовое разбавление также можно заметить по коэффициенту накопления цинка, меди и свинца мятой перечной (табл. 7): Контроль накапливал цинк больше остальных вариантов в 2023 г. (1,6) и 2024 г (0,5) при минимальной массе относительно других вариантов. Больше всего растения накапливали элементы в первый и второй год вегетации.

Таблица 7. Коэффициент накопления цинка, меди и свинца мятой перечной в листьях, мелкоделяночный опыт

Вариант	Цинк			Медь			Свинец		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	0,95	1,60	0,57	0,90	1,78	0,34	0,33	0,54	н/д
NPK + МЭ	0,57	1,02	0,31	0,77	0,88	0,18	0,18	0,00	н/д
Лг1 + NPK	0,63	0,55	0,34	1,22	0,87	0,24	0,56	0,34	н/д

Продолжение таблицы 7									
Лг1 + NPK + МЭ	1,35	0,62	0,26	1,57	0,62	0,27	1,03	0,46	н/д
Лг2 + NPK	0,97	0,63	0,43	1,13	0,78	0,36	0,38	0,39	н/д
Лг2 + NPK + МЭ	1,05	0,52	0,27	1,02	0,54	0,27	0,49	0,27	н/д
Лс1 + NPK	1,07	0,48	0,44	0,88	0,85	0,29	0,58	0,41	н/д
Лс1 + NPK + МЭ	1,10	0,86	0,22	0,73	0,65	0,29	0,30	0,27	н/д
Лс2 + NPK	0,69	0,66	0,43	1,30	0,78	0,23	0,44	0,42	н/д
Лс2 + NPK + МЭ	0,59	0,68	0,25	0,70	0,80	0,35	0,42	0,39	н/д

Общая зольность в листьях является показателем качества листьев мяты перечной по ОФС 1.2.2.2.0013 (рис. 6, табл. П.8). Согласно характеристике из фармакопейной статьи показатель общей золы не должен превышать 14%. В первый год произрастания все варианты превышают это значение. На второй год четыре варианта остаются больше этой цифры, среди которых остается контроль (16,3% за 2023 г.). На третий год произрастания значения общей золы у всех вариантов стало ниже 14%. За все три года наблюдений у контрольного варианта был наибольший процент общей золы.

Заметное увеличение суммы фенольных соединений (ФС) в листьях отмечено в 2023 г. по сравнению с 2022 г., прибавка составила 1,2-12,0 мг-экв/г. Значения ФС в 2024 г. имели расхождения в некоторых вариантах до 2 раз относительно 2023 г., однако среднее значение показателя за 2023 г. составило 6,6 мг-экв/г и 6,4 мг-экв/г за 2024 г. (рис. 7, табл. П.9).

Растения на варианте с внесением минеральных удобрений в почвогрунт и без foliarных обработок наращивали содержание суммы ФС каждый год и имели максимальное значение 7,5 мг-экв/г в 2024 г. за все три года исследования. В 2024 г. превышало это значение только у растений контрольного варианта (9,4 мг-экв/г).

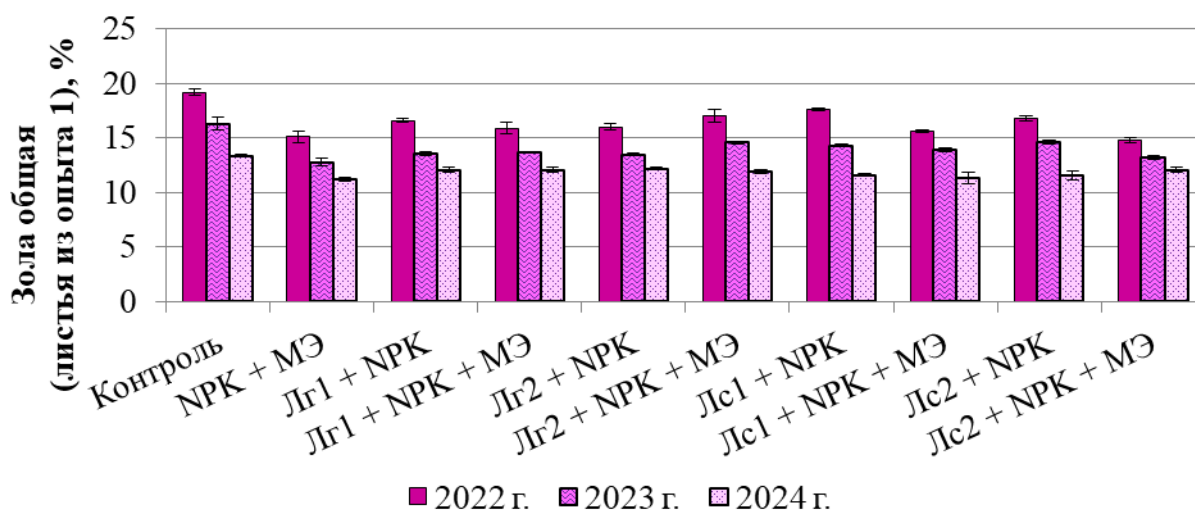


Рисунок 6. Содержание общей золы в сухих листьях мяты перечной, мелкоделяночный опыт, %. Вертикальные линии – стандартное отклонение.

Анализ по максимальным значениям суммы ФС показал, что стабильно высокие значения отмечены на трех вариантах: 1) обработка 0,01% раствором лигногумата с внесением в почвогрунт NPK и микроэлементов цинка и меди (3,3 мг-экв/г в 2022 г.; 11,9 мг-экв/г в 2023 г.); 2) без фолиарной обработки с внесением в почвогрунт NPK и микроэлементов цинка и меди (2,9 мг-экв/г в 2022 г.; 7,5 мг-экв/г в 2024 г.); 3) контрольный вариант (13,8 мг-экв/г в 2023 г.; 9,4 мг-экв/г в 2024 г.). При оценке содержания ФС в растениях высокие показатели в данном случае свидетельствуют: а) о присутствии стресс-фактора для растений (Соловьева, 2019); б) фазах развития растений (Кириченко, 2008; Маланкина, 2018). Первый пункт можно объяснить тем, что микроэлементы при внесении в почвогрунт без фолиарной обработки не помогают растениям адаптироваться. Лигногумат в растворе 0,01% при фолиарной обработке с внесением макро- и микроэлементов не стимулирует растения к адаптации в отличие от других вариантов. Второй пункт больше относится к контрольному варианту. Связано это с тем, что рост и развитие растений на контрольном варианте было замедленным и процессы отставали от вариантов с использованием удобрений, цветение едва достигало 50% на момент уборки опыта.

Примечательно, что в 2023 г. на вариантах с одной и той же фолиарной обработкой, но с разным минеральным питанием, содержание фенольных соединений больше при внесении микроэлементов в почвогрунт. В результатах,

полученных в 2024 г., такой зависимости не наблюдается. Что свидетельствует о том, что влияние микроэлементов на фенольный состав неоднозначно.

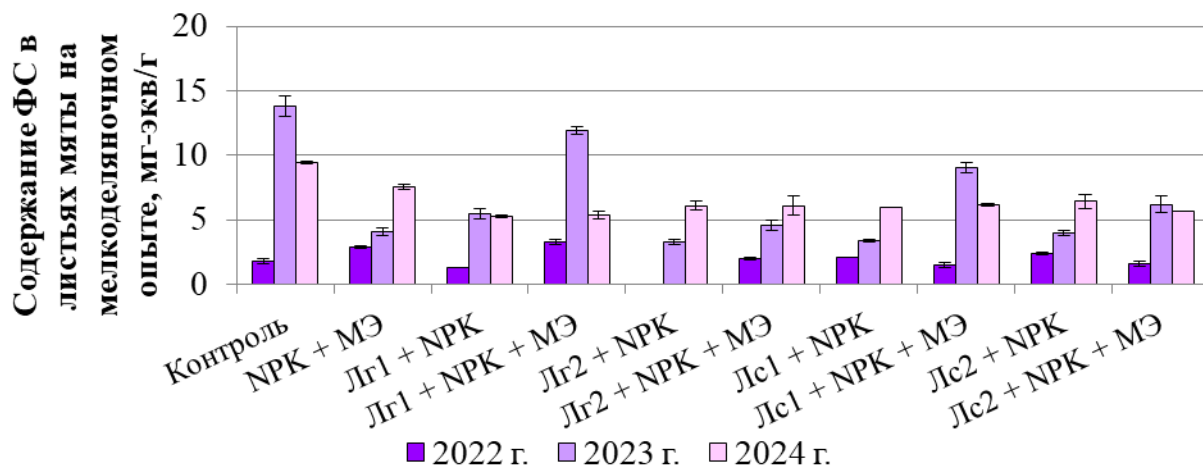


Рисунок 7. Суммарное содержание фенольных соединений в сухих листьях мяты перечной, мг-экв по галловой кислоте /г сухой массы. %. Вертикальные линии – стандартное отклонение.

Полученные результаты лучше всего описывают данные третьего года произрастания мяты – коэффициент вариации по фенольным соединениям для 2024 г. равен 18,8%. Для данных второго года выращивания заметна наибольшая вариативность в содержании фенольных соединений – коэффициент вариации для 2023 г. составил 54,5%.

Отличие в содержании фенольных соединений у растений 1-го года вегетации с 2-м и 3-м годом можно объяснить длительностью вегетации растений в опыте и срезкой растений перед зимним периодом. В 2022 г. растения не достигли фазы цветения и не накопили максимальное количество фенольных соединений. В это время они накапливали питательные вещества перед холодным периодом. В 2023 и 2024 гг. вегетационный период был дольше, температура и интенсивность солнечного света были выше, у растений было больше времени на рост.

Пигменты играют особую роль в онтогенезе растений. Они преобразуют солнечную энергию в энергию химических связей и могут служить косвенными признаками по устойчивости растений к стресс-факторам (Синеговская, 2022). Определение пигментов в листьях мяты перечной показало, что в 2024 г.

содержание хлорофилла *a* было максимальным для всех вариантов по отношению к данным, полученным в 2022 и 2023 гг. (рис. 8, табл. П.10.), а для хлорофилла *b* максимальные значения были получены в 2023 г. на всех вариантах опыта, кроме контрольного варианта (рис. 9, табл. П.10.).

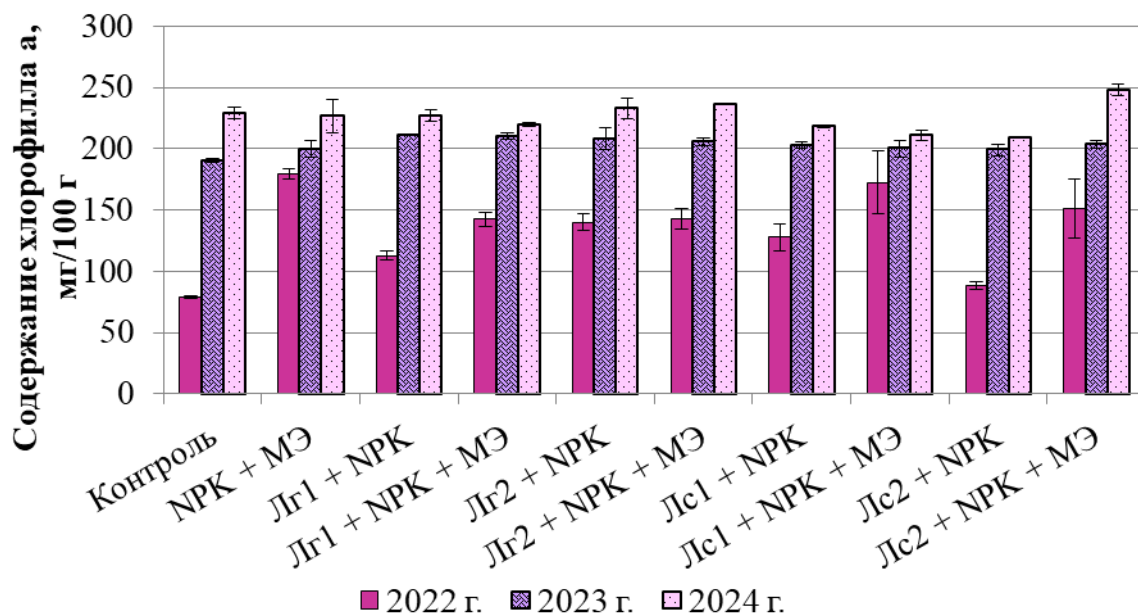


Рисунок 8. Содержание хлорофилла *a* в листьях мяты перечной в мелкоделяночном опыте, мг/100 г сырой массы. %. Вертикальные линии – стандартное отклонение.

По литературным данным (Rathor, 2023; Rostami et al., 2019) содержание хлорофилла увеличивается при применении гуминовых веществ. В данном исследовании с мятой перечной действительно есть эффект увеличения содержания пигмента хлорофилла в сравнении с контролем. При этом значимое действие было обнаружено в первый год исследования, когда растения испытывали недостаток в освещении – в 2022 г. относительно контроля содержание хлорофилла *a* было выше на 12-128%, содержание хлорофилла *b* было выше на 15-172%, содержание суммы хлорофиллов было выше на 13-138%. В второй и третий год произрастания растений эффективность лигногумата и лигносульфоната в повышении содержания пигментов снижается. Микроэлементы цинк и медь также могли оказать влияние на содержание пигментов. По данным Srirattanakul T. и др. (Srirattanakul T. et al, 2016) при внесении в почву 200 ppm сернокислого цинка у мяты снижается содержание

хлорофилла а и b по сравнению с внесением более низкой концентрации сернокислого цинка 100 ppm. В исследовании с мятой перечной в 2024 г. подвижность цинка и меди увеличилась до 2 раз, что отразилось на снижении содержания хлорофилла b.

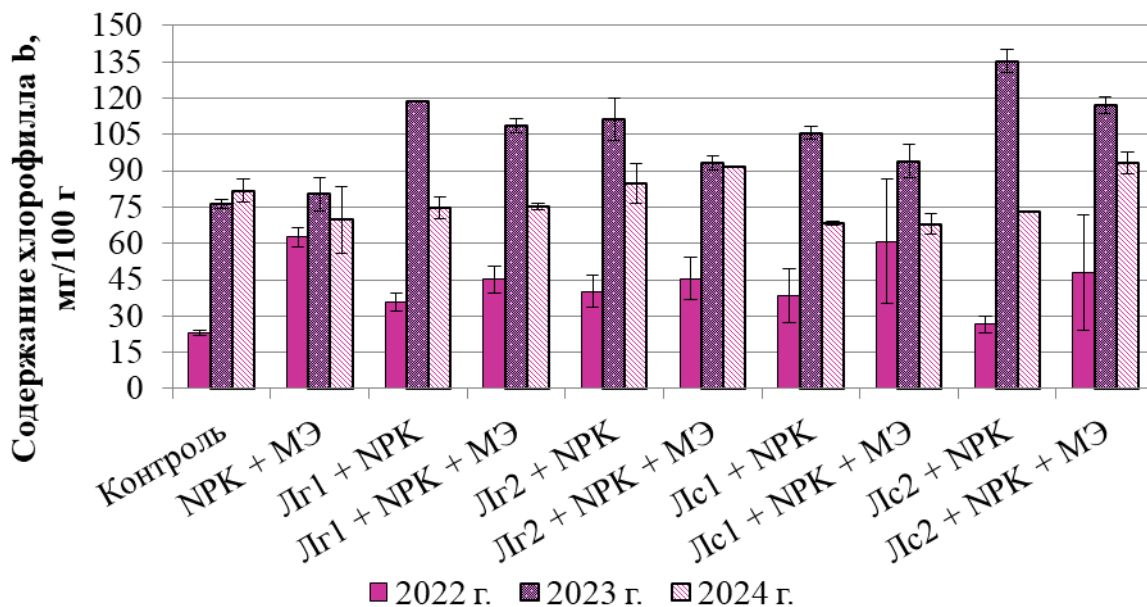


Рисунок 9. Содержание хлорофилла b в листьях мяты перечной, мг/100 г сырой массы. %. Вертикальные линии – стандартное отклонение.

Сумма хлорофилла а и б имела максимальные значения в 2022 г. у варианта без foliarной обработки с внесением в почвогрунт НРК и микроэлементов; в 2023 г. - у варианта с foliarной обработкой лигносульфонатом 0,05% с внесением НРК; в 2024 г. у варианта с foliarной обработкой лигносульфонатом 0,05% с внесением НРК и микроэлементов; а минимальные значения по вариантам для суммы хлорофиллов а и б за первые два года вегетации были на контрольном варианте, а в 2024 г. - на варианте с обработкой лигносульфоната 0,01% с внесением НРК и микроэлементов (рис. 10, табл. П.11). В 2024 г. наблюдали повышенное содержание суммы хлорофиллов на контроле при сравнении с предыдущими годами, а также относительно остальных вариантов третьего года опыта (6 вариантов имеют сумму хлорофиллов меньше контроля). Полученные данные можно объяснить как неспецифическую стресс-реакцию у контрольного варианта. В условиях стресса растения склонны накапливать содержание пигментов (Синеговская, 2022; Романцова и др., 2021). Так как под

контрольный вариант не вносили никакие удобрения и не проводились подкормки, то растения испытывали стресс от недостатка питательных элементов.

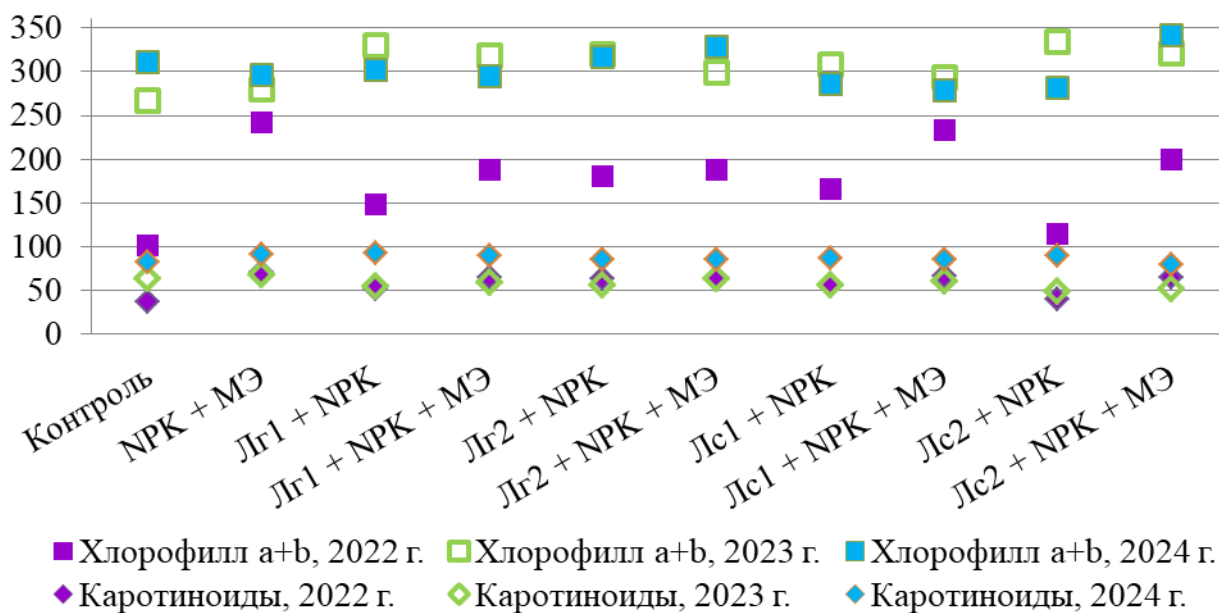


Рисунок 10. Содержание суммы хлорофиллов а и в и содержание каротиноидов в листьях мяты перечной, мг/100 г сырой массы. %. Вертикальные линии – стандартное отклонение.

Содержание каротиноидов было минимальным в 2022 г. у контрольного варианта, в 2023 г. у варианта с фолиарной обработкой лигносульфонатом 0,05% с внесением NPK и в 2024 г. у варианта с фолиарной обработкой лигносульфонатом 0,05% с внесением NPK и микроэлементов. Максимальное содержание каротиноидов в 2022 г. и 2023 г. было у варианта без фолиарной обработки с внесением NPK и микроэлементов, а в 2024 г. - у варианта с фолиарной обработкой лигногуматом 0,01% с внесением NPK (рис.10, табл. П.12). В 2023 г. содержание каротиноидов значительно возросло у контрольного варианта (в 1,7 раз) и умеренно у варианта с фолиарной обработкой лигносульфонатом 0,05% с внесением NPK (в 1,2 раза). Остальные варианты остались по содержанию каротиноидов приблизительно на том же уровне или меньше, что и в 2022 г. Заметно снизилось содержание каротиноидов в 2023 г., у варианта с обработкой лигносульфонатом 0,05% с внесением NPK и микроэлементов (в 0,8 раз). Данные за 2024 г. характеризуются одними из самых

больших значений за три года исследования – содержание каротиноидов увеличилось в 1,3-1,8 раз в сравнении с предыдущим годом. На вариантах с фолиарной обработкой лигногуматом 0,01% и лигносульфонатом 0,05% с внесением NPK этот показатель увеличился в 1,7 и 1,8 раз. Из всех вариантов в 2024 г. меньше остальных изменилось содержание каротиноидов на контрольном варианте и на варианте с фолиарной обработкой лигногуматом 0,05% с внесением NPK и микроэлементов (каждый в 1,3 раза). Увеличение содержания каротиноидов можно объяснить повышению антиоксидантной активности в растении, так как большинство пигментов из класса каротиноидов проявляют значительную антиоксидантную активность против образования гидроперекисей (Straumite, 2015).

Отдельно стоит рассмотреть действие фолиарных обработок растений лигногуматом и лигносульфонатом. Как было обозначено выше, максимальное содержание каротиноидов в 2022 г. и 2023 г. было у варианта без фолиарной обработки с внесением NPK и микроэлементов (70,37 мг/100 г в 2022 г. и 67,65 мг/100 г 2023 г.), а в 2024 г. этот вариант был второй по максимальному содержанию каротиноидов (91,76 мг/100 г) — фолиарные обработки стимуляторами благоприятно действовали на антиоксидантную систему растений, благодаря чему у растений наблюдается пониженное содержание каротиноидов.

При недостаточном освещении или ином стресс-факторе растения уменьшают соотношение хлорофилла а к хлорофиллу b, за счет синтеза большего количества молекул хлорофилла b. Тем самым растения расширяют спектр поглощения света для поддержания процесса фотосинтеза, что может рассматриваться как механизм адаптации растений к стрессу. Снижение соотношения хлорофилла а к хлорофиллу b может рассматриваться как показатель увеличения резистентности растений к стресс-факторам. При анализе обсуждаемого показателя было выявлено, что максимальные значения соотношения хлорофилла а к хлорофиллу b совпадают с минимальными количествами хлорофиллов по вариантам (табл. 8). Так максимальное значение соотношения

в 2022 г. было у контрольного варианта (3,4) и варианта Лг2+NPK, в 2023 г. было у контрольного варианта (2,5) и варианта без фолиарной обработки с внесением NPK и микроэлементов (2,5), в 2024 г. – на варианте без фолиарной обработки с внесением NPK и микроэлементов (3,2) и на варианте с фолиарной обработкой лигносульфоната 0,01% с внесением NPK (3,2).

Таблица 8. Соотношение хлорофилла а к хлорофиллу б в листьях мяты перечной в мелкоделяночном опыте

Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	3,4	2,5	2,8
NPK + МЭ	2,9	2,5	3,2
Лг1 + NPK	3,2	1,8	3,0
Лг1 + NPK + МЭ	3,1	1,9	2,9
Лг2 + NPK	3,5	1,9	2,7
Лг2 + NPK + МЭ	3,1	2,2	2,6
Лс1 + NPK	3,3	1,9	3,2
Лс1 + NPK + МЭ	2,8	2,1	3,1
Лс2 + NPK	3,3	1,5	2,9
Лс2 + NPK + МЭ	3,1	1,7	2,7

Для минимальных значений соотношение хлорофилла а к б такой закономерности не было выявлено. Минимальное значение соотношения в 2022 г. было у варианта с фолиарной обработкой лигносульфонатом 0,01% с внесением NPK+МЭ, в 2023 г. было у варианта с фолиарной обработкой лигносульфоната 0,05% с внесением NPK, в 2024 г. было у варианта с фолиарной обработкой лигногуматом 0,05% с внесением NPK+МЭ. Можно предположить, что при оптимизации питания и наличия питательных элементов растения использовали ресурсы для расширения возможностей фотосинтетической

системы. Поэтому при повышенном содержании пигментов хлорофилла их соотношение было ниже 3,0.

Активность каталазы измеряли в период вегетации растений в июле в 2023 г. и 2024 г. Она была выше в 2023 г., чем в 2024 г. (рис. 11, табл. П.13). Самые высокие значения были у варианта Лг2+НРК. Самая низкая активность этого фермента отмечена на вариантах Контроль в 2023 г. и Лс1+НРК+МЭ, Лс2+НРК+МЭ в 2024 г. На показатель в большей степени оказывали цинк и медь – активность каталазы с ними была больше в 2023 г. и меньше в 2024 г. относительно вариантов без их внесения. Варианты с их внесением отличаются по годам большей вариабельностью. То есть растения более гибко реагировали на условия окружающей среды, в частности на содержание цинка и меди в почвогрунте (табл. 11). По данным Петуховой Е.С. и др. (Петухова и др., 2017) высокое содержание цинка и меди 5-10 ОДК (валовые формы) относительно контроля в почве снижает активность каталазы. Общее увеличение подвижности цинка и меди характерно для 2024 г. при превышении ПДК элементов в 2-3 раза для цинка и 5-7 раз для меди. 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 и содержание подвижной меди было около 2 ПДК, а в 2024 г. содержание подвижного цинка составило 1,5 ПДК и содержание подвижной меди составило 5 ПДК. Таким образом, проявляется разница в показателе по годам из-за подавления ферментативной активности, вызванного высоким содержанием микроэлементов (Ковалева, 2025).

Для полученного экспериментального материала были посчитаны коэффициенты корреляции: пигментов с питательными элементами в листьях (общий азот, нитраты, фосфор, калий) (табл. 9). Данные коэффициенты позволяют оценить взаимосвязь элементов питания в растениях с содержанием пигментов. В условиях мелкоделяночного опыта содержание питательных элементов в листьях мяты перечной оказали неодинаковое действие и степень тесноты связи на корреляцию с содержанием пигментов. В листьях наблюдалась

средняя корреляционная связь нитратов (с содержанием хлорофилла а в 2024 г. $r=0,56$, содержанием хлорофилла b в 2024 г. $r=0,56$ и содержанием каротиноидов в 2024 г. $r=0,59$) и калия (с содержанием каротиноидов в 2024 г. $r=0,53$). Доминирующее влияние на пигменты имели нитраты (максимальные значения по модулю для каждого пигмента в каждый год исследования имеет диапазон от 0,34 до 0,59 – от слабой до средней корреляции) и калий (максимальные значения по модулю для каждого пигмента в каждый год исследования имеет диапазон от 0,41 до 0,53 – от слабой до средней корреляции). Фосфор имел наименьшее влияние на пигменты, например, его максимальный коэффициент корреляции по модулю составляет 0,37 для содержания каротиноидов в 2022 г.

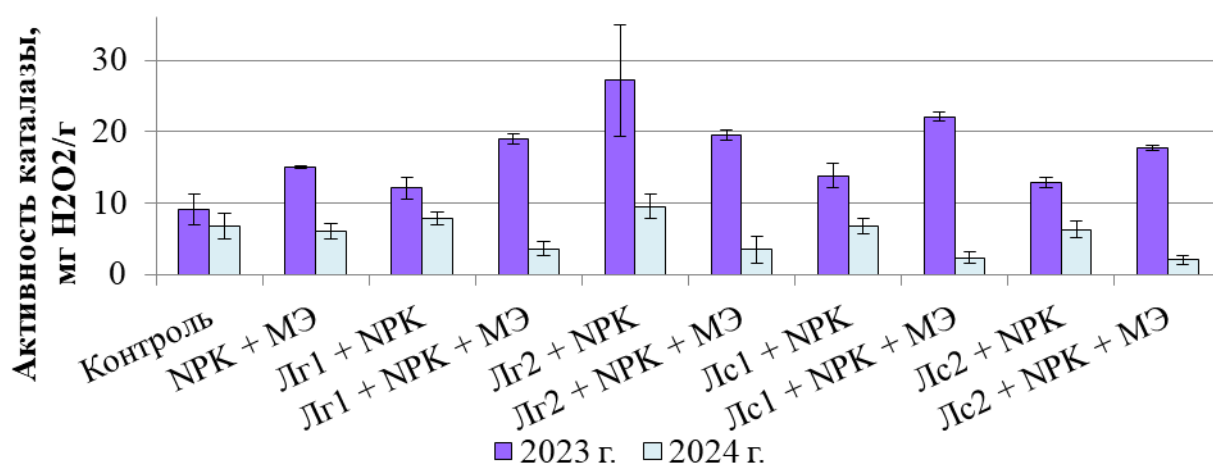


Рисунок 11. Активность каталазы в мг H₂O₂, разложившейся за время инкубации на 1 г свежих листьев мяты перечной. Вертикальные линии на графике – стандартное отклонение. ДДА при $\alpha=0,1$: 1) данные за 2023 г. $F_A=7,0$, $p_A=0,01$; $F_B=4,9$, $p_B=0,03$; $F_{AB}=7,3$, $p_{AB}=0,01$; 2) данные за 2024 г. $F_A=4,4$, $p_A=0,03$; $F_B=27,5$, $p_B=0,00$; $F_{AB}=0,4$, $p_{AB}=0,73$. %. Вертикальные линии – стандартное отклонение.

Разница в значениях корреляции обусловлено тем, что растения в первый год выращивали в условиях уменьшения светового дня и суточных температур. В этот период растения накапливали питательные вещества для перезимовки. Силы растительного организма были направлены на запасание пластичных веществ – в таблице 3 показано, что рост надземной массы был крайне низким.

В этот период большая часть жизненных сил уходит на поддержание жизнеспособности организма к холодным условиям.

Таблица 9. Коэффициенты корреляции содержания фотопигментов от содержания питательных элементов в листьях мяты перечной, мелкоделяночный опыт

Отклик	Год исследования	Содержание питательных элементов			
		Азот	Нитраты	Фосфор	Калий
Хлорофилл а	2022 г.	-0,39	0,14	0,30	0,48
	2023 г.	-0,18	-0,43	-0,33	-0,09
	2024 г.	0,45	0,56	0,10	0,40
Хлорофилл в	2022 г.	-0,43	0,03	0,26	0,41
	2023 г.	0,27	-0,43	-0,18	-0,44
	2024 г.	0,14	0,56	0,02	0,17
Сумма хлорофиллов а и в	2022 г.	-0,40	0,11	0,29	0,46
	2023 г.	-0,26	0,38	0,13	0,41
	2024 г.	-0,25	-0,34	-0,08	-0,15
Каротиноиды	2022 г.	-0,33	0,14	0,37	0,53
	2023 г.	0,17	-0,48	-0,24	-0,39
	2024 г.	0,33	0,59	0,07	0,31

Характеристики почвогрунта на момент закладки опыта соответствовали ГОСТ Р 53381-2009. Содержание подвижных форм цинка, меди и свинца были выше нормативов для почвогрунтов: цинк 37,3 мг/кг против 23 мг/кг норматива; медь 10,7 мг/кг против 3 мг/кг норматива; свинец 17,0 мг/кг против 6 мг/кг норматива. Реакция среды (рН), содержание азота (нитратный и

аммиачный), фосфора и калия не нормируются в почвогрунтах, под культуру мяты (ГОСТ Р 53381-2009). С одной стороны, повышенное содержание цинка, меди и свинца могут замедлять рост растений, нарушая биохимические процессы, с другой, накопление цинка, меди и свинца в растительной продукции делает непригодной и даже опасной для употребления ее в пищевой или в фармацевтической промышленности (Позняк, 2011). Также особое значение для мяты имеет содержание фосфора в почве (почвогрунте), так как при его низком количестве мята более подвержена заболеваниям (Мустьяцэ, 1985). Мята, являясь эфиромасличным растением, выделяет фенольные экссудаты аналогичные составу эфирного масла, которые в свою очередь могут оказывать влияние на подвижность различных элементов в почвегрунте. В первый год подземная часть мяты перечной была слабо развита из-за процесса адаптации после посадки (укоренения). На второй и третий год вегетации мощность подземной массы была больше относительно первого года, а значит, влияние на почвенные процессы она оказывала сильнее за счет увеличения всасывающей поверхности подземных органов.

Содержание подвижного фосфора в почвогрунте до проведения исследования было повышенным и составляло 542 мг/кг, а в конце вегетации 2022 г. оно варьировало в диапазоне 126-293 мг/кг на разных вариантах (табл. 10). На второй год выращивания мяты перечной подвижность фосфора была более значительной, чем в первый и третий годы, что также может свидетельствовать о его интенсивном поглощении растениями. Резкое изменение фосфора с 542 мг/кг до проведения опыта до 126-293 мг/кг на следующий год можно объяснить изменением подвижности фосфорных соединений за счет накопления органики в верхнем слое почвогрунта. Самое низкое содержание фосфора в почвогрунте было у контрольного варианта. Одним из самых высоко обеспеченных подвижным фосфором вариантов оказался вариант с обработкой лигногуматом 0,01% с внесением NPK, цинка и меди (253,8 мг/кг в 2022 г., 425,1 мг/кг в 2023 г., 344,8 мг/кг в 2024 г.). Фолиарная обработка не имела влияние на подвижный фосфор только в 2022 г. Корневое

внесение удобрений и взаимодействие фолиарной обработки и внесение макроэлементов и микроэлементов оказывали значимое воздействие на подвижные соединения фосфора в течение трех лет исследования.

Таблица 10. Содержание подвижного фосфора и калия в почвогрунте в конце вегетации растений в мелкоделяночном опыте, мг/кг

Вариант	Подвижный фосфор, мг/кг			Подвижный калий, мг/кг		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	136,5	234,5	167,2	163,4	170,8	104,4
НРК + МЭ	245,0	475,7	268,1	202,3	330,5	226,3
Лг1 + НРК	190,3	337,5	286,7	193,7	314,2	191,5
Лг1 + НРК + МЭ	253,8	425,1	344,8	186,9	329,0	261,1
Лг2 + НРК	195,2	306,4	255,9	204,3	234,1	139,2
Лс1 + НРК	227,4	376,4	213,6	247,3	261,1	139,2
Лг2 + НРК + МЭ	278,7	265,8	292,0	204,4	266,1	247,9
Лс1 + НРК + МЭ	243,4	265,0	328,3	194,8	247,6	252,4
Лс2 + НРК	216,7	357,6	291,3	174,0	190,9	169,7
Лс2 + НРК + МЭ	250,9	366,9	329,0	174,9	224,6	191,5
Стандартное отклонение	40,9	74,0	54,9	25,8	57,2	53,1
Коэффициент вариации, %	18,3	21,7	19,8	13,3	22,3	27,6

В исходном образце содержание подвижного калия было равно 300 мг/кг, а в конце вегетации растений в 2022 г. его содержание упало в 1,8 раз на контрольном варианте. В 2023 г. подвижность калия увеличилась и, соответственно, его содержание в почвогрунте тоже, а в 2024 г. подвижность уменьшилась вместе с содержанием в почвогрунте (контрольный вариант в 2,9 раз содержал меньше подвижного фосфора от изначального значения). Коэффициент вариации показывает, что на третий год вегетации (2024 г.) вариативность данных увеличилась в 2 раза ($CV=27,6\%$) в сравнении с первым

годом вегетации ($CV=13,3\%$). На общее снижение подвижного калия также повлиял вынос его вместе с надземной массой. По полученным данным прослеживается тенденция увеличения подвижности калия в вариантах с добавлением хелатных форм цинка и меди в почвогрунт (табл. 10). В первый год проведения опыта 2022 г. эта зависимость не наблюдалась. Она становится более очевидной на второй 2023 г. и третий 2024 г. исследования. Калий вносили в одинаковом количестве на все варианты с минеральным питанием, масса мяты была значима больше в вариантах с дополнительным внесением хелатов цинка и меди, тем не менее, на этих вариантах содержание подвижного калия даже увеличивается.

Динамика на снижение свинца в почвогрунте на второй год вегетации растений, при изначальном значении 17,0 мг/кг, наблюдается в варианте без foliarной обработки с корневым внесением NPK и цинка с медью (14,9 мг/кг в 2022 г. и 12,7 мг/кг в 2023 г.). В вариантах с внесением в почвогрунт хелатных форм микроэлементов и NPK снизилось содержание подвижных форм свинца в конце первого вегетативного года на 0,2-5,1 мг/кг, однако на второй год вегетации количество подвижного свинца возросло на 3,7-7,2 мг/кг для тех же вариантов (рис. 12, табл. П.14). На третий год вегетации 2024 г. в четырёх вариантах было обнаружено максимальное содержание подвижного свинца в почвогрунте за все 3 года опыта: контрольный вариант (35,3 мг/кг), вариант с корневым внесением NPK+МЭ без foliarной обработки (31,9 мг/кг), вариант с foliarной обработкой лигногуматом 0,01% и внесением в почвогрунт NPK (26,3 мг/кг), вариант с foliarной обработкой лигногуматом 0,05% и корневым внесением NPK, цинка и меди (34,3 мг/кг). Больше всего влияния на подвижность свинца оказало совместное применение foliarной обработки и корневого внесения удобрений (табл. П.20). Вероятно, внесение цинка как микроэлемента в почвогрунта сыграло роль в антогонизме элементов свинец-цинк (Уткин, 2009). Однако коэффициент корреляции между содержанием подвижных форм цинка и свинца показывает слабую связь за три года исследования $r=0,02-0,21$. Другой элемент, фосфор, который также является

антагонистом свинца, оказал более сильное взаимодействие с тяжелым металлом. Коэффициент корреляции между подвижными формами фосфора и свинца в почвогрунте равен $r=0,72$ в 2022 г., $r=0,42$ в 2023 г. и $r=0,54$ в 2024 г. Влияние фолиарной обработки на содержание подвижного свинца в почвогрунте усиливается на третий год возделывания мяты (табл. П.21). Согласно ДДА большее воздействие оказали фолиарные обработки лигногуматом 0,05% и лигносульфонатом 0,01%, что вероятно связано с корневыми выделениями (экссудатами) мяты после стимуляции от фолиарной обработки лигногуматом и лигносульфонатом.

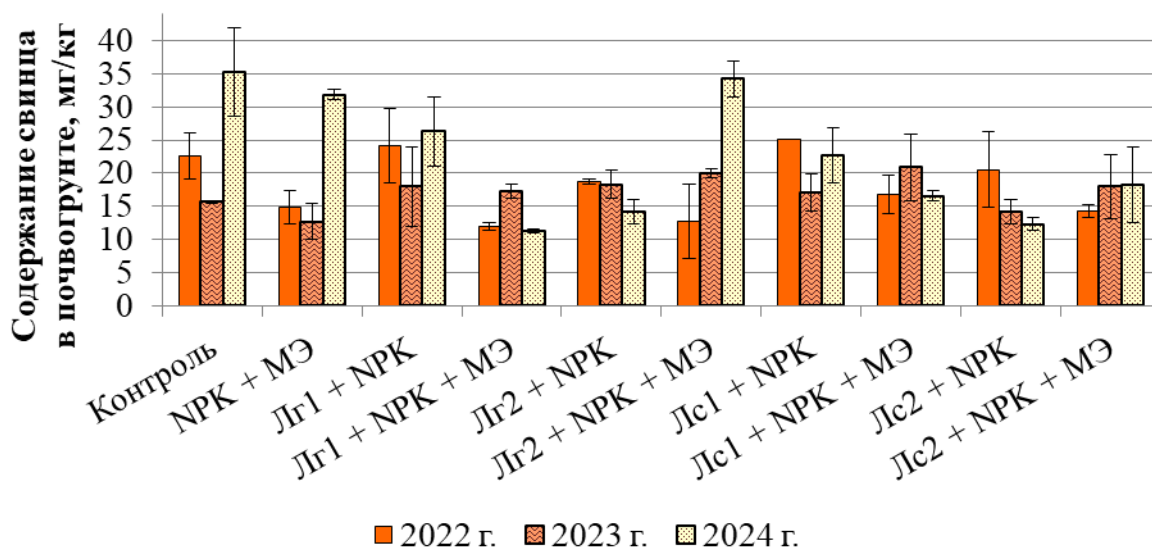


Рисунок 12. Содержание подвижных форм свинца в почвогрунте (ААБ), мг/кг. Вертикальные линии на графике – стандартное отклонение.

Содержание подвижного цинка в почвогрунте при трехлетнем возделывании мяты увеличилось в 1,6-2,1 раза в вариантах с внесением хелата цинка (результаты за 2024 г.). ПДК для подвижного цинка в почвах составляет 23 мг/кг. На протяжении всего исследования значения показателя не опускались ниже норматива, а при закладке опыта оно было больше него и равнялось 37,3 мг/кг. Результаты по этому показателю с каждым годом сильно варьируют, что отражается в увеличении коэффициента вариации год от года. Наиболее высокие значения 78,1 мг/кг у Lг2+NPK+MЭ (превышение ПДК в 3,4 раза) и 73,6 мг/кг у Лс2+NPK+MЭ (превышение ПДК в 3,2 раза) пришлось

на 2024 г. Изменения в содержании цинка на третий год в большей степени обусловлено снижением содержания фосфора в почвогрунте ($r=0,69$, средняя связь). Четко прослеживается накопление цинка в вариантах с его внесением. Можно предположить, что мята с возрастом хуже усваивает цинк поверхностной корневой системой – содержание цинка в почвогрунте увеличивалось при том, что масса мяты также увеличивалась с каждым годом, а содержание цинка в листьях мяты снижалось либо оставалось неизменным (рис. 5, табл. 11).

Таблица 11. Содержание подвижных соединений цинка и меди в почвогрунте (ААБ), мг/кг. Для коэффициента корреляции: содержание подвижного фосфора в почвогрунте – независимая переменная; цинк и медь – отклики

Вариант	Цинк			Медь		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	28,1	23,4	34,7	16,2	6,2	15,5
НРК + МЭ	33,0	33,5	53,4	11,5	11,5	21,4
Лг1 + НРК + МЭ	32,9	36,0	68,1	9,6	12,9	12,8
Лг2 + НРК	36,1	24,4	32,5	8,9	9,0	11,3
Лг1 + НРК	34,1	24,4	49,8	10,8	6,9	21,1
Лг2 + НРК + МЭ	43,2	44,8	78,1	11,9	10,1	14,7
Лс1 + НРК	37,3	30,4	34,7	12,6	8,3	12,8
Лс1 + НРК + МЭ	32,9	31,7	67,1	15,1	8,6	12,3
Лс2 + НРК	29,3	25,9	29,8	9,5	7,6	11,4
Лс2 + НРК + МЭ	30,3	35,8	73,6	16,0	8,8	13,0
Стандартное отклонение	6,0	7,6	18,3	3,4	2,2	3,9
Коэффициент вариации, %	17,9	24,6	35,1	28	23,9	26,9
Коэффициент корреляции	0,30	0,12	0,69	-0,10	0,57	-0,09

Содержание подвижной меди в почвогрунте характеризуется общим снижением на второй год роста мяты на 26,2 %, что более заметно в сравнении с подвижным цинком (общее снижение на 8%). Третий год опыта также отмечен увеличением подвижности меди, содержание меди в почвогрунте было значительно выше ПДК (3 мг/кг) и за все время проведения опыта не снизилось до этого значения. Одни из самых высоких значений по содержанию подвижных соединений меди в почвогрунте принадлежат варианту без фолиарной обработки NPK+МЭ. Содержание фосфора в почвогрунте оказало большее влияние на подвижную медь в 2023 г., чем в другие годы исследования ($r=0,57$, средняя связь). На второй и третий год исследования возрастает роль фолиарных обработок и внесение удобрений с макроэлементами и микроэлементами на подвижность меди и цинка (табл. 11).

Содержание нитратной и аммонийной формы азота сократилось в конце вегетации 2022 г. относительно данных до проведения исследования (нитратный азот – 15,7 мг/кг, аммонийный азот – 46,0 мг/кг). Нитратный азот постепенно накапливался в течение последующих двух лет, но неравномерно по вариантам. Аммонийный азот имел пониженные значения на второй год вегетации 2023 г. в сравнении с первым годом 2022 г., кроме двух вариантов Лг2 + NPK и Лс2 + NPK (табл. 12). Коэффициент вариации показывает, что лучше всего данные по нитратному азоту в почвогрунте представлены за 2023 г. ($CV=22,7$), а данные по аммонийному азоту лучше описывают третий год исследования 2024 г. ($CV=19,3$).

Таблица 12. Содержание нитратного и аммонийного азота в почвогрунте, мг/кг

Вариант	Нитратный азот, мг/кг			Аммонийный азот, мг/кг		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	8,7	13,1	16,7	11,7	7,29	12,83
NPK + МЭ	8,1	7,6	6,7	9,7	4,59	12,70
Лг1 + NPK + МЭ	8,3	7,5	13,6	12,7	6,76	16,24

Продолжение таблицы 12						
Лг1 + NPK	6,3	10,2	15,2	11,2	6,82	20,16
Лг2 + NPK	6,2	8,5	25,4	9,5	11,17	17,55
Лг2 + NPK + МЭ	11,5	7,5	7,6	12,2	6,04	17,15
Лс1 + NPK	7,6	7,4	4,0	11,4	3,67	20,95
Лс1 + NPK + МЭ	8,8	8,0	4,7	13,3	8,35	20,16
Лс2 + NPK	8,6	7,1	8,1	8,0	13,08	15,06
Лс2 + NPK + МЭ	5,9	10,9	5,2	11,1	13,14	13,62
Стандартное отклонение	1,9	2,0	6,7	3,1	3,4	3,2
Коэффициент вариации, %	23,5	22,7	62,6	27,9	42,0	19,3

В мелкоделяночном опыте получены разносторонние данные, которые можно кратко охарактеризовать следующим образом:

- на сырую и сухую массу оказали влияние в большей степени минеральные удобрения и погодные условия;
- количество соцветий увеличилось на 373% в 2023 г. на 146% в 2024 г. в варианте без фолиарной обработки с внесением NPK и цинка с медью по сравнению с контролем. Лучшим вариантом за 2023 г. и 2024 г. был с обработкой лигногуматом 0,01% на фоне NPK и цинка с медью;
- самое высокое содержание нитратов в листьях отмечено у растений 1-го года (2022 г.) с наименьшей массой;
- измерения суммы фенольных соединений показали, что цинк и медь в количестве 1ПДК и 0,5ПДК при внесении в почвогрунт без фолиарной обработки не помогают растениям адаптироваться к стрессу;
- по соотношению пигментов хлорофиллов а и б максимальное значение было у контрольного варианта (3,4 в 2022 г. и 2,5 в 2023 г.) и варианта без фолиарной обработки с внесением NPK и микроэлементов

(2,5 в 2023 г. и 3,2 в 2024 г.) Количество каротиноидов у вариантов с фолиарными обработками стимуляторами было ниже, чем у варианта без фолиарной обработки с внесением NPK и микроэлементов (70,37 мг/100 г в 2022 г. и 67,65 мг/100 г 2023 г.), а в 2024 г. этот вариант был второй по максимальному содержанию каротиноидов (91,76 мг/100 г). Первый был с фолиарной обработкой лигногуматом 0,01% с внесением NPK;

- самые высокие значения активности каталазы были у варианта NPK с фолиарной обработкой лигногумата 0,05%;

- наиболее тесная связь между пигментами и питательными элементами была у нитратов ($r=0,34-0,59$ – от слабой до средней корреляции) и у калия ($r=0,41-0,53$ – от слабой до средней корреляции). Наиболее слабая связь была у пигментов с фосфором;

- содержание азота, фосфора и калия в листьях мяты перечной снижалось с увеличением возраста посадок. Содержание азота в листьях растений вариант с обработкой лигногуматом 0,05% с внесением NPK и цинка с медью содержал меньше всего этого элемента (2,84% в 2022 г. и 1,50% в 2023 г.). В первый год вегетации 2022 г. у контроля было минимальное содержание фосфора в листьях (0,68%), а на второй и третий года произрастания у него максимальные значения в сравнении с другими вариантами (0,83% в 2023 г. и 0,52% в 2024 г.). На протяжении трех лет исследования у варианта с фолиарной обработкой лигносульфонатом 0,05% и внесением NPK наблюдалось пониженное содержание калия в листьях (1,3% в 2022 г., 0,9% в 2023 г., 0,8% в 2024 г.);

- содержание цинка меди и свинца в листьях мяты перечной имеет тенденцию к убыванию по мере роста растений или остается примерно на одном уровне даже в вариантах с внесением хелатных форм цинка и меди. Содержание меди упало до 2,6 раз за три года вегетации;

- одним из самых высоко обеспеченных подвижным фосфором вариантов оказался вариант с обработкой лигногуматом 0,01% и внесением NPK, цинка и меди (253,8 мг/кг в 2022 г., 425,1 мг/кг в 2023 г., 344,8 мг/кг в 2024 г.) На третий год вегетации увеличилась подвижность свинца в почвогрунте за все 3 года опыта. Мята с возрастом хуже усваивает цинк корневой системой – содержание цинка в почвогрунте увеличивалось при том, что масса мяты также увеличивалась с каждым годом, а содержание цинка в листьях мяты снижалось либо оставалось неизменным. Содержание фосфора в почвогрунте оказало большее влияние на подвижную медь в 2023 г., чем в другие годы исследования ($r=0,57$, средняя связь). Коэффициент корреляции между подвижными формами фосфора и свинца в почвогрунте равен $r=0,72$ в 2022 г., $r=0,42$ в 2023 г. и $r=0,54$ в 2024 г. Влияние фолиарной обработки на содержание подвижного свинца в почвогрунте усиливается на третий год возделывания мяты. Согласно ДДА большее воздействие оказали фолиарные обработки лигногуматом 0,05% и лигносульфонатом 0,01%, что вероятно связано с корневыми выделениями (экссудатами) мяты после стимуляции от фолиарной обработки лигногуматом и лигносульфонатом.

3.2. Опыт 2. Изменение морфометрических показателей мяты перечной при внесении удобрений в торф и фолиарной обработке лигногуматом и лигносульфонатом растений в условиях вегетационного опыта

Надземная масса является ключевым показателем для оценки развития мяты перечной и ее урожайности и была выше в вегетационном опыте во многих вариантах при сравнении с контролем. Измерение надземной сырой массы в 2022 г. показало, что самые низкие значения совпадали с этим показателем в мелкоделяночном опыте. В 2023 г. прирост массы был в 1,4-4,2 раза больше, чем годом ранее. В 2024 г. наблюдался незначительный

прирост свежей массы до 1,6 раза за исключением контроля (рис. 13, табл. П.15).

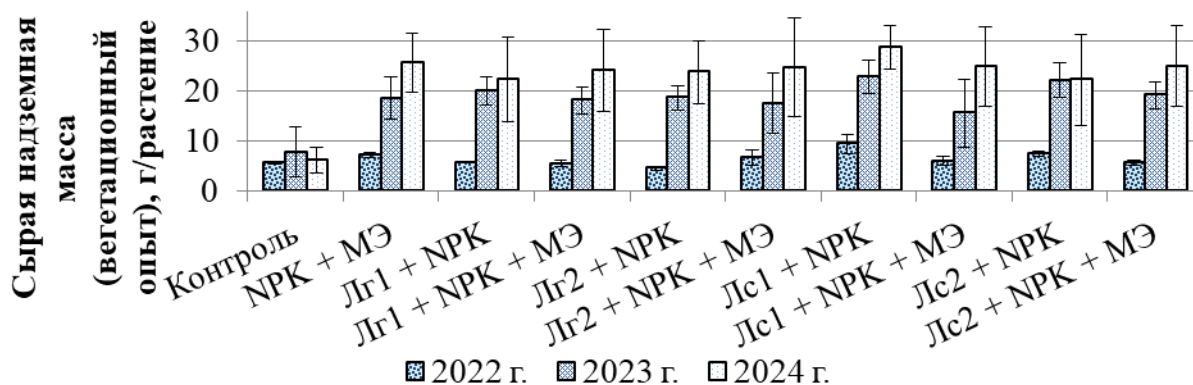


Рисунок 13. Сырая надземная масса мяты перечной после уборки вегетационных опытов, г/растение. НСР_{0,01} по ОДА для каждого года исследования: 2022 г. – 1,3 г/растение; 2023 г. – 5,9 г/растение; 2024 г. – 10,39 г/растение. Вертикальные линии – стандартное отклонение для каждого варианта.

ОДА для каждого года вегетации показал, что средние вариантов с удобрениями стабильно различаются с контролем. В 2024 г. средние по вариантам достоверно различались только с контролем – разница между средним контролем и средними значениями в остальных вариантах превышала НСР_{0,01} (10,4). Достоверных отличий между другими вариантами не было выявлено.

Надземная масса за 2023 г. кроме достоверных различий между всеми вариантами и контролем было выявлено два достоверных различия между средними следующих пар вариантов: 1) обработка лигносульфонатом 0,01% на минеральном питании с NPK и с той же обработкой на минеральном питании NPK с микроэлементами; 2) обработка лигносульфонатом 0,01% на минеральном питании NPK с микроэлементами и обработка лигносульфонатом 0,05% на минеральном питании с NPK.

Данные по надземной массе за 2022 г. показали больше различий средних по вариантам. Так, с контрольным вариантом достоверно различались три варианта: 1) вариант без фолиарной обработки с корневым внесением NPK и микроэлементов, 2) вариант с обработкой лигносульфонатом 0,01% на

минеральном питании с NPK и 3) вариант с обработкой лигносульфонатом 0,05% на минеральном питании с NPK. Так же как и в 2023 г. повторялись пары с достоверными различиями: 1) обработкой лигносульфонатом 0,01% на минеральном питании с NPK и с той же обработкой на минеральном питании NPK с микроэлементами; 2) обработкой лигносульфонатом 0,01% на минеральном питании NPK с микроэлементами и обработкой лигносульфонатом 0,05% на минеральном питании с NPK. Всего ОДА показал 23 пары вариантов, в которых средние достоверно различались с уровнем значимости 0,1.

Согласно ОДА есть три пары вариантов, у которых средние достоверно отличались с уровнем значимости 0,1 на протяжении трех лет: 1) контрольный вариант и вариант без фолиарной обработки с внесением NPK и микроэлементов; 2) контрольный вариант и вариант с фолиарной обработкой лигносульфоната 0,01% и внесением NPK; 3) контрольный вариант и вариант с фолиарной обработкой лигносульфоната 0,05% и внесением NPK. Все пары вариантов различались с контролем, а между собой имели значимые различия только в 2022 г.: 1) вариант без фолиарной обработки с внесением NPK и микроэлементов и вариант с фолиарной обработкой лигносульфоната 0,01% и внесением NPK (разница на 2,2 г/растение); 2) вариант с фолиарной обработкой лигносульфоната 0,01% и внесением NPK и вариант с фолиарной обработкой лигносульфоната 0,05% и внесением NPK (разница на 1,9 г/растение). Из всех рассмотренных вариантов у вариант с фолиарной обработкой лигносульфоната 0,05% и внесением NPK самая большая масса в 2022 г., 2023 г. и 2024 г. – 9,4 г/растение, 22,8 г/растение и 28,8 г/растение соответственно. В вегетационном опыте эффективно было внесение в торф микроэлементов и фолиарная обработка растений лигносульфонатом.

Также как и на свежую массу в мелкоделяночном опыте значительный эффект на надземную массу в вегетационном опыте оказали температурные показатели. Температурный режим в 2022 г. обсуждался выше в мелкоделяночном опыте вместе с ГТК в фазе активного роста в июне. В вегетационном опыте в 2024 г. два варианта из 10 имеют массу выше по

сравнению с 2023 г. Это можно объяснить тем, что в 2023 г. было 17 суток с температурой ниже 10 °С, а в 2024 г. не было суток с температурой ниже 10 °С на период вегетации растений.

Существенную разницу для надземной массы между вариантами с внесением одних и тех же удобрений, но с различающимися по концентрации стимуляторами роста, можно наблюдать в первый год вегетационного опыта: вариант с обработкой лигносульфонатом 0,01% на минеральном питании NPK (9,4 г/растение) и вариант с обработкой лигносульфонатом 0,05% на минеральном питании NPK (7,5 г/растение). В остальных парах сравнения нет различий, либо они различаются по минеральному питанию и препарату для фолиарной обработки. Разница между фолиарной обработкой растений лигногуматом и лигносульфонатом была значимой только на второй и третий год вегетационного опыта. Можно сделать вывод, что лигносульфонат лучше проявил себя в стрессовых для растений условиях (температурные условия, интенсивность солнечного света), увеличив массу мяты в первый год вегетационного опыта.

Для площади листьев в вегетационном опыте характерна более значительная разница в размере на вариантах с удобрениями относительно контроля, чем в мелкоделяночном опыте — все значения превышают этот показатель на контрольном варианте. Тенденции в различии действия стимуляторов роста не наблюдается. Есть различия между вариантами при использовании микроэлементов в первый год 2022 г. проведения вегетационного опыта. В вариантах, в которых применялись хелатные микроэлементы площадь листьев больше, чем в вариантах с полным минеральным питанием, но без них. Например, площадь листа в варианте NPK + МЭ равна 8,6 см²; площадь листа в варианте Лг1 + NPK равна 2,9 см²; площадь листа в варианте Лг1 + NPK + МЭ равна 4,5 см². Такая разница в показателе может быть связана с ограниченной скоростью роста из-за короткого светового дня, а цинк и медь в питании дали дополнительное преимущество для увеличения площади листа и увеличении поверхности для фотосинтеза. При оценке связи надземной массы растений и

площади листа коэффициент корреляции показывает умеренную связь в трех повторениях вегетационного опыта 2022-2024 гг. ($r=0.44-0.51$) (табл. 13).

Таблица 13. Площадь листа на 3 междоузлие от точки роста у мяты перечной в вегетационном опыте на первую неделю июля. Для коэффициента корреляции и коэффициента детерминации: площадь листа – независимая переменная, сырая масса растений – отклик

Вариант	Площадь листа, см ²			Отклонение от контроля, ±%		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	1,4	8,6	11,2	100	100	100
НРК + МЭ	8,6	10,5	15,9	+530	+22	+43
Лг1 + НРК	2,9	15,7	16,3	+110	+82	+46
Лг1 + НРК + МЭ	4,5	16,7	17,4	+229	+94	+56
Лг2 + НРК	3,3	10,1	18,7	+141	+17	+67
Лг2 + НРК + МЭ	8,6	10,9	15,6	+532	+26	+40
Лс1 + НРК	7,8	15,9	19,2	+470	+84	+72
Лс1 + НРК + МЭ	10,3	11,6	12,2	+652	+34	+10
Лс2 + НРК	5,4	11,0	21,7	+293	+28	+95
Лс2 + НРК + МЭ	8,0	10,3	15,0	+488	+19	+34
Коэффициент корреляции	0,44	0,50	0,51	-	-	-
Коэффициент детерминации	0,20	0,25	0,26	-	-	-

К подземным органам мяты перечной относятся корневища, главный корень и боковые корни. По полученным результатам исследования на мяте перечной ДА для подземных органов показал, что нулевая гипотеза о равенстве средних отвергается только для данных 2022 г. ($4,59 > 1,96$; где 1,96 табличное значение для F (9, 20)) — фактор удобрения влияет на подземную часть растений.

Для 2023 и 2024 г. нулевая гипотеза не отвергается, достоверных различий для полученных результатов не выявлено — фактор удобрений не оказывает значимого влияния на продуктивность подземной массы ($0,18 > 1,96$ для 2023 г. и $1,01 > 1,96$ для 2024 г.; где 1,96 критическое значение для F (9, 20)) (табл.14).

Таблица 14. Сырая подземная масса мяты перечной, г/растение

Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.	отклонение от контроля, ±%		
				2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	2,4	11,1	11,9	100	100	100
НРК + МЭ	2,7	11,4	22,9	+14	+3	+93
Лг1 + НРК	2,4	13,0	30,6	0	+17	+158
Лг1 + НРК + МЭ	2,9	15,1	21,5	+25	+36	+81
Лг2 + НРК	2,0	12,6	31,1	-13	+13	+162
Лг2 + НРК + МЭ	4,5	10,3	36,0	+90	-7	+204
Лс1 + НРК	4,0	11,2	23,6	+72	+1	+99
Лс1 + НРК + МЭ	3,5	10,3	40,2	+50	-8	+238
Лс2 + НРК	3,4	11,7	29,2	+43	+5	+146
Лс2 + НРК + МЭ	2,4	9,7	32,1	+2	-13	+171
НСР_{0,10}	0,9	9,2	19,7	-	-	-
F	4,59	0,18	1,01	-	-	-

В исследовании на кукурузе (Ertani, 2019) показано, что в корнях растений, накапливается хлорогеновая и феруловая кислоты при применении различных биостимуляторов на основе лигногумата и лигносульфоната. Обе кислоты

относятся к гидроксикоричным кислотам. Хлорогеновая кислота благодаря своим свойствам (например, антиоксидантные) имеет потенциал для участия в обеспечении устойчивости растений к стрессам окружающей среды (Soviguidi, 2022). Феруловая кислота есть в составе клеточных стенок – она и другие коричные кислоты может ковалентно связывать полимеры клеточных стенок. Одним из таких полимеров является лигнин – важный компонент вторично утолщенных клеточных стенок растений (Ramakrishna, 1989; Santos, 2008). Связывание через ковалентные связи полимеров – это процесс, важный для остановки наращивание цепи биополимера при биосинтезе. Таким образом, корневая система может казаться больше из-за увеличенного объема, но при этом ее масса не сильно увеличиваться из-за накопления гидроксикоричных кислот.

Кроме того, что стимуляторы роста могут оказывать влияние на подземные органы мяты, существует еще сортовая особенность накопления надземной и подземной массы (Кириченко, 2008). Так как в исследовании использовались одни и те же растения для черенкования, то можно сделать вывод, что питание растений играет наибольшую роль в соотношении надземной и подземной масс.

В 2022 г. наименьшую подземную сырую массу имел вариант с обработкой лигногумата 0,05% и внесением NPK (меньше контроля на 13,5%), в 2023 г. – с обработкой лигносульфонатом 0,05% и внесением NPK с микроэлементами (меньше контроля на 12,6%) и в 2024 г. – контрольный вариант. Если рассматривать наибольшую массу в каждом году, то их всех объединяет внесение в торф азота, фосфора, калия и микроэлементов (цинк и медь), однако дозы и вещества для фоллиарной обработки различаются: лигногумат 0,05% (больше контроля на 90,4%), лигногумат 0,01% (больше контроля на 36,0%), лигносульфонат 0,01% (больше контроля на 238,5%) для 2022, 2023 и 2024 г., соответственно.

Результаты ОДА по надземной сухой массе в вегетационном опыте показали, что фактор удобрений оказал влияние только в первый и второй год вегетационного опыта. В третий год исследования (2024 г.) нулевая гипотеза о

равенстве средних не отвергается – $1,94 > 1,96$; где 1,96 табличное значение для $F_{(9, 20)}$ (табл. 15). Разница средних для 2024 г. превышает НСР только в вариантах с сравнении с контролем. Отклонение от контроля увеличилось в сравнении с предыдущем годом на 73-152% из-за того, что масса контроля уменьшилась, а масса других вариантов увеличилась.

Максимальная сухая надземная масса в 2022 г. и 2024 г. приходилась на вариант с обработкой лигносульфонатом с концентрацией 0,01% на полном минеральном питании (1,6 г/растение и 8,2 г/растение соответственно), а в 2023 г. это был вариант с фолитарной обработкой лигногуматом с концентрацией 0,01% на таком же полном минеральном питании (7,7 г/растение). Концентрация 0,01% двух препаратов оказалась самой эффективной для накопления сухой массы. Сравнение вариантов с фолитарными обработками и с вариантом без фолитарной обработки с полным минеральным питанием и микроэлементами цинком и медью показывает, что последний вариант также способствует накоплению сухой массы (табл. 15).

Таблица 15. Сухая надземная масса мяты перечной в вегетационном опыте, г/растение

Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Отклонение от контроля, %		
				2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	0,9	2,6	2,0	100	100	100
НРК + МЭ	1,2	7,2	7,4	+32	+178	+278
Лг1 + НРК	1,0	7,7	7,2	+9	+195	+268
Лг1 + НРК + МЭ	1,0	6,0	6,6	+2	+129	+237
Лг2 + НРК	0,8	6,4	7,3	-14	+146	+273
Лг2 + НРК + МЭ	1,1	6,4	7,3	+13	+147	+269

Продолжение таблицы 15						
Лс1 + NPK + МЭ	0,8	5,9	7,2	-12	+126	+264
Лс1 + NPK	1,6	6,9	8,2	+72	+165	+317
Лс2 + NPK	1,4	6,7	6,7	+46	+156	+242
Лс2 + NPK + МЭ	1,1	6,3	7,1	+16	+141	+261
НСР_{0,10}	0,2	1,6	3,0	-	-	-
F	6,32	4,61	1,94	-	-	-

В листьях мяты перечной вегетационного опыта наибольшее содержание цинка принадлежит варианту без фолиарной обработки с внесением NPK, хелатов цинка и меди в торф (88,3 мг/кг в 2022 г., 70,2 мг/кг в 2023 г., 44,2 мг/кг в 2024 г.). Содержание меди больше всего содержится в двух вариантах за три года: вариант без фолиарной обработки с внесением NPK, цинка и меди (19,0 мг/кг в 2022 г.) и вариант с фолиарной обработкой лигносульфоната 0,05% с внесением NPK, цинка и меди (рис. 14, табл. П.16). Влияние лигногумата и лигносульфоната на содержании цинка и меди в листьях проявилось в большей степени из-за ростового разбавления и разрастанием корневой системы на большую глубину. Например, в 2023 г. содержание меди в контроле равно 3,0 мг/кг при сырой массе 7,8 г/растение, в тоже время содержание меди в варианте с фолиарной обработкой лигносульфоната 0,05% и внесением NPK равно 1,5 мг/кг при сырой массе 22,2 г/растение. Разница в изменении содержания по годам объяснена в мелкоделяночном опыте в обсуждении результатов цинка и меди в листьях мяты из мелкоделяночного опыта и связана с ГТК. Отдельно стоит рассмотреть эффект ростового разбавления. Варианты с внесением в почвогрунт цинка и меди имеют более высокое содержание этих элементов, чем без них. Лигногумат и лигносульфонат имеют в составе цинк и медь (цинк 678,4 мг/кг и медь 710,3 мг/кг в лигногумате на сухое вещество и цинк

19,98 мг/кг и медь 2,02 мг/кг в лигносульфонате на сухое вещество), они могли увеличить количество рассматриваемых элементов, однако этот эффект не проявился на вариантах с питанием NPK и фолиарными обработками. Такие варианты имеют значения ниже Контроля. Такая же тенденция отмечена в результатах мелкоделяночного опыта (рис. 5). Исключения относятся только к данным за 2022 г., что можно объяснить температурными условиями и длиной светового дня – растения в таких условиях накапливали элементы. Вероятно, вклад в ростовое разбавление оказывают азотные, фосфорные и калийные удобрения в большей степени, чем микроэлементы.

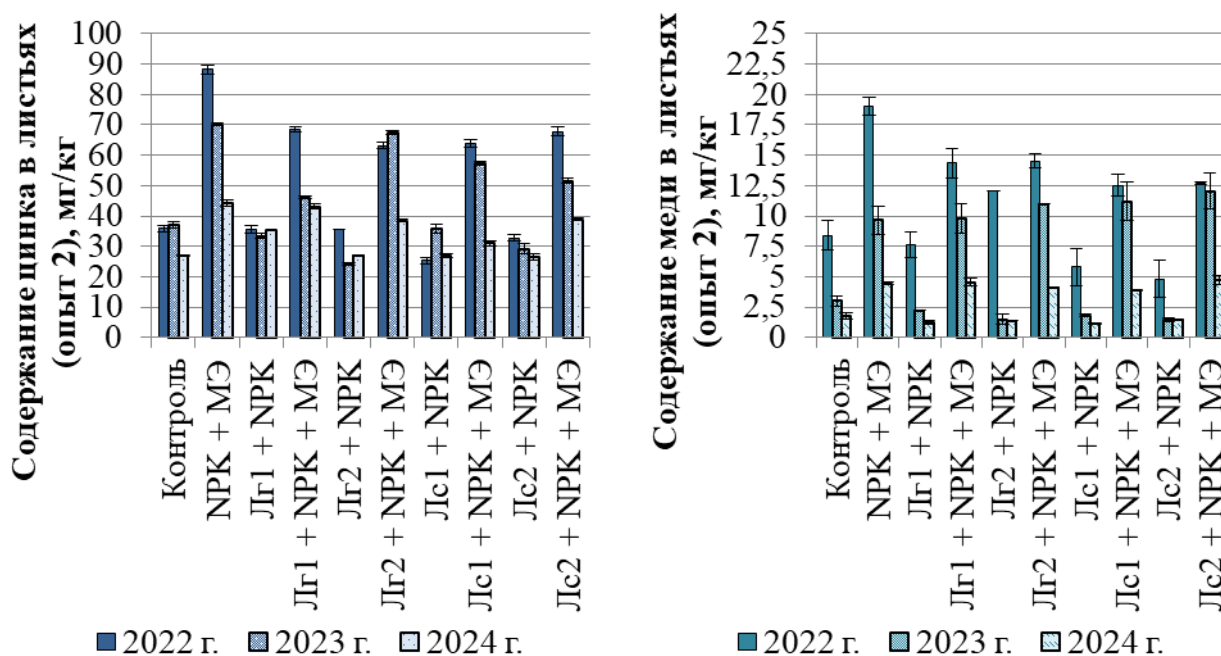


Рисунок 14. Содержание цинка и меди в листьях мяты перечной, мг/кг сухого веса. %. Вертикальные линии – стандартное отклонение.

Содержание общей золы в листьях из вегетационного опыта 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 (рис. 15, табл. П.17). Внесение микроэлементов не повышает общую золу в листьях, а вместе с фолиарными обработками даже снижает. Например, показатель у варианта с фолиарной

обработкой лигногумата 0,01% и внесением NPK+МЭ ниже показателя варианта только с NPK+МЭ на 1,4% в 2022 г., на 2,8% в 2023 г. и на 0,5% в 2024 г. Фолиарные обработки достоверно влияли на содержание общей золы на протяжении 2022-2024 гг. (таблица П.22).

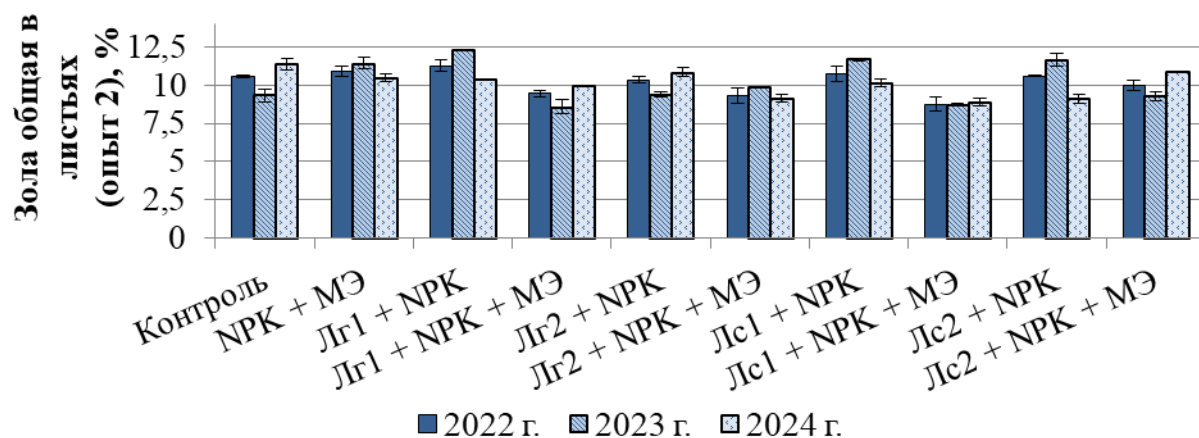


Рисунок 15. Содержание общей золы в сухих листьях мяты перечной, %.

Вертикальные линии – стандартное отклонение.

Содержание хлорофилла увеличивалось в вегетационном опыте в 2024 г. Содержание каротиноидов в листьях мяты вегетационного опыта, наоборот, снижено в опыте 2024 г. относительно данных 2023 г. Контрольный вариант имеет максимальное значение каротиноидов в 2023 г. и 2024 г. относительно других вариантов (табл. 16). Так как контрольный вариант не обрабатывался фолиарно, в торф не вносили удобрения, а используемый субстрат не содержал дополнительных питательных элементов, то можно предположить, что повышенное содержание каротиноидов связано с адаптацией к дефициту питания, например, азота. Остальные варианты распределяли эффективность фотосинтеза за счет зеленой массы и площади листа.

Таблица 16. Содержание хлорофилла а, хлорофила b и каротиноидов в листьях мяты перечной, выращенной в вегетационном опыте, мг/100 г сырой массы

Вариант	Хлорофилл а		Хлорофилл b		Каротиноиды	
	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	204,2	231,0	76,2	124,5	84,7	61,3
НРК + МЭ	184,8	236,0	90,7	176,8	55,4	41,2
Лг1 + НРК + МЭ	179,6	258,6	87,3	161,2	53,7	49,1
Лг2 + НРК	187,1	242,4	94,0	193,6	60,2	40,2
Лг1 + НРК	200,7	230,1	84,4	97,4	67,6	58,4
Лг2 + НРК + МЭ	219,4	250,9	86,5	163,6	76,7	57,7
Лс1 + НРК	196,3	251,6	79,7	113,0	65,4	43,6
Лс1 + НРК + МЭ	195,4	245,6	89,5	171,0	64,0	54,2
Лс2 + НРК	202,4	255,3	78,8	177,3	71,1	51,1
Лс2 + НРК + МЭ	197,7	245,7	88,5	136,7	62,4	55,0

Сумма хлорофиллов с наименьшим их разбросом отмечена в 2023 г., от 266,9 мг/100 г до 305,9 мг/100 г, чем в 2024 г. с диапазоном значений от 327,5 мг/100 г до 436,0 мг/100 г., что может быть связано с погодными условиями и освещением на момент проведения исследования. Наибольшее значение этого показателя принадлежат двум вариантам: первый вариант – фолиарная обработка лигногуматом 0,05% с внесением НРК + МЭ (305,9 мг/100 г в 2023 г.); второй вариант – фолиарная обработка лигногуматом 0,05% с внесением НРК (рис. 16, табл. П.18).

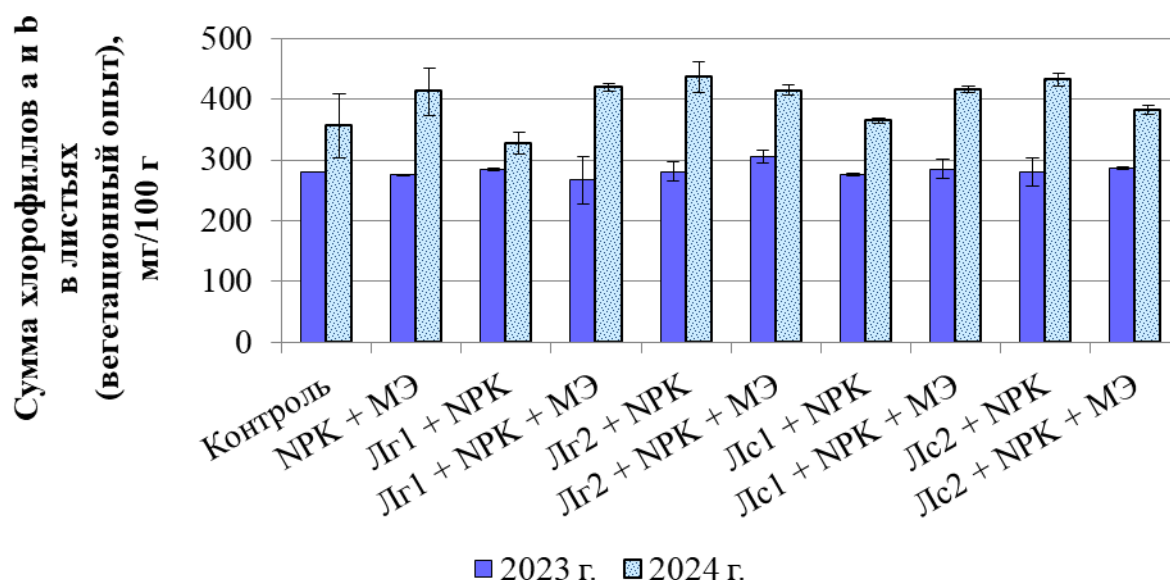


Рисунок 16. Содержание суммы хлорофиллов а и б в листьях мяты перечной, выращенной в вегетационном опыте, мг/100 г сырой массы. Вертикальные линии на графике – стандартное отклонение.

Заключение по вегетационному опыту:

- Кроме удобрений на прирост массы оказал влияние климатический фактор (ГТК в июне 2023 г. был равен 1,62; в июне 2024 г. он равен 2,80). В 2023 г. прирост массы был в 1,4-4,2 раза больше, чем годом ранее; в 2024 г. наблюдался незначительный прирост свежей массы до 1,6 раза за исключением контроля;

- Статистически на протяжении трех лет стабильно имели значимую разницу по сырой массе: вариант без фолиарной обработки с внесением NPK и микроэлементов, вариант с фолиарной обработкой лигносульфоната 0,01% и внесением NPK, вариант с фолиарной обработкой лигносульфоната 0,05% и внесением NPK;

- Наибольший вклад в рост корней оказали минеральные удобрения;

- Концентрация 0,01% лигногумата и лигносульфоната оказалась самой эффективной для накопления сухой надземной массы.

- На содержание общей золы внесение минеральных удобрений в торф и фолиарная обработка растений стимуляторами роста не оказывают существенного влияния.

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. Содержание нитратов в листьях мяты перечной уменьшалось в 3,3 раза в аналогичных вариантах в 2022 г. и в 2023 г. после обработки растений лигногуматом в дозе 0,01% и обработкой лигносульфонатом в дозе 0,05% на варианте с NPK. На второй год роста растений содержание свинца в листьях снизилось в вариантах без фолиарной обработки с внесением NPK и микроэлементов, с обработкой лигногуматом 0,05% с внесением NPK и микроэлементов, с обработкой лигносульфонатом 0,01% с внесением NPK и микроэлементов, с обработкой лигносульфонатом 0,05% с внесением NPK и стало ниже ПДК (6 мкг/кг) вероятно за счет ростового разбавления, так как масса мяты перечной увеличилась в 2,9; 3,3; 2,4 и 1,7 раз соответственно относительно Контроля.

Внесение в почвогрунт минеральных удобрений усилило эффективность фолиарной обработки растений Лг и Лс на изучаемые фотопигментов. 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 образование соцветий у растений с самым высоким показателем в 2023 и 2024 гг. - Лг1+NPK+МЭ и подвижность калия в почвогрунте. Также увеличение подвижности цинка и меди оказало влияние на уменьшение активности фермента каталазы.

Одним из самых высоко обеспеченных подвижным фосфором в мелкоделяночном опыте 2022 и 2023 гг. был вариант Лг1+NPK+МЭ. Содержание подвижного фосфора в почвогрунте оказало большее влияние на подвижную медь в 2023 г., чем в другие годы исследования ($r=0,57$, средняя связь). В целом подвижный фосфор показал от средней до высокой корреляцию с подвижным свинцом ($r=0,42-0,72$). Содержание свинца снижено при внесении хелатов цинка и

меди, в частности у варианта NPK+МЭ и варианта лигносульфоната 0,01% с NPK+МЭ.

За три года проведения вегетационных опытов показано, что надземная биомасса мяты перечной была более отзывчива на минеральное питание, чем на фолиарные обработки. Подземная масса по вариантам опыта статистически различалась только в 2022 г. При этом по результатам двухфакторного дисперсионного анализа для 9 вариантов, где в качестве контроля рассматривался вариант без фолиарной обработки с внесением NPK+МЭ, фактор фолиарной обработки не оказал влияния на морфометрические показатели растений мелкоделяночного и вегетационных опытов.

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. При этом фолиарные обработки достоверно влияют на количество общей золы в листьях в мелкоделяночном и вегетационных опытах по результатам двухфакторного дисперсионного анализа относительно варианта NPK+МЭ. 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). По накоплению цинка и меди мяту можно отнести к культуре слабого накопления этих микроэлементов, так как коэффициент накопления находился в диапазоне от 1 до 0,1 (Афанасьева, 2018).

Разный тип распределения данных в показателях вегетационного и мелкоделяночного опыта обусловлена 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+MЭ. Содержание каротиноидов снижается при применении любых фолиарных обработок до 44% относительно NPK+MЭ.

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.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ААБ – ацетатно-аммонийный буфер, рН 4,8

ВЭЖХ – высокоэффективная жидкостная хроматография

д.в. – действующее вещество

ДДА – двухфакторный дисперсионный анализ

н/д – нет данных

ОДА – однофакторный дисперсионный анализ

РФ – Российская Федерация

ФС – фенольные соединения

CV – коэффициент вариации

НРК – азот, фосфор и калий

p – вероятность превышения

r – коэффициент корреляции

sd- стандартное отклонение

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьева Л. В., Аюшина Т. А. Накопление и распределение микроэлементов в растениях *Arctostaphylos uva-ursi* //Химия растительного сырья. – 2018. – №. 3. – С. 123-128.
2. Бекбулатова Е. В., Зокирова М. С., Тадаева Е. В. Химический состав эфирного масла и экстрактов мяты перечной (*Mentha piperita* L.) //Строительство и образование. – 2025. – №. Спецвыпуск 1. – С. 258-264.
3. Бекшенева Л. Ф., Реут А. А. Изучение влияния гуминовых веществ на репродукцию и морфометрические параметры ирисов //Аграрный вестник Урала. – 2024. – Т. 24. – №. 5. – С. 649-660.
4. Богословский В.Н., Левинский Б.В., Сычев В.Г. Агротехнологии будущего / под редакцией В. Г. Сычева. Том 1. – Москва: РИФ "Антиква", 2004. – 164 с.
5. Борисова Г.Г., Ермошин А.А., Малева М.Г., Чукина Н.В. Биохимия растений: вторичный обмен: учебное пособие для вузов / под общей редакцией Г. Г. Борисовой. – Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 128 с.
6. Босак В. Н., Сачивко Т.В., Цыркунова О.А., Блохин А.А. Содержание и вынос элементов питания зелеными, пряноароматическими и эфирномасличными культурами на дерново-подзолистых почвах //Овощеводство. – 2023. – Т. 30. – С. 6-13.
7. Бугаенко Л. А. Генетические и биотехнологические аспекты уточнения путей биосинтеза монотерпеноидов у мяты //Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2010. – Т. 23. – №. 4 (62). – С. 66-71.
8. Бутюгин А.В., Антонова А.Л., Узденников Н.Б. Гнеденко М.В., Плевако М.З. Изучение влияния буроугольных гуминовых препаратов на древесные породы в условиях высоких температур и засухи //Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2012. – №. 33. – С. 69-72.

9. Войткевич С. А. Эфирные масла для парфюмерии и ароматерапии. Москва: Пищевая промышленность. – 1999. – С. 71-72.
10. Гаранович И. М., Блинковский Е. Д. Влияние щелочной вытяжки биогумуса на рост и развитие саженцев декоративных древесных растений //Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. – 2021. – Т. 66. – №. 2. – С. 253-256.
11. Гончарова Л.Ю., Симонович Е.И., Сахарова С.В., Шиманская Е.И. Влияние некоторых удобрений («Белогор», «Лигногумат» и «Покоп») на урожайность эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* Moench.) и отдельные показатели чернозема обыкновенного //Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2012. – №. 4(170). – С. 62-65.
12. ГОСТ 13496.19-93. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания нитратов и нитритов. – М.: Стандартинформ, 2011. – 18 с.
13. ГОСТ 31791–2017. Эфирные масла и цветочно–травянистое эфиромасличное сырье. Технические условия (с Поправкой) Официальное издание. – М.: Стандартинформ, 2019. – 21 с.
14. ГОСТ Р 50683-94. Почвы. Определение подвижных соединений меди и кобальта по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО. — Москва: Издательство стандартов, 1995. — 19 с.
15. ГОСТ Р 50686-94. Почвы. Определение подвижных соединений цинка по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО. — Москва: Издательство стандартов, 1995. — 16 с.
16. ГОСТ Р 53593-2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Продукция и сырье эфиромасличное, травянистое и цветочное. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 15 с.
17. ГОСТ Р. 53381-2009 Почвы и грунты. Грунты питательные. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2009 – 15 с.

18. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. – Москва: Издательство стандартов, 1985. – 8 с.
19. Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений (ФГБУ «ГОССОРТКОМИССИЯ») [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gossortrf.ru/> – Дата обращения 17.11.2025.
20. Государственная фармакопея РФ. 14-е изд. Т. 1-4. М.; 2018. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/> – Дата обращения 09.08.2025.
21. Государственная фармакопея РФ. 15-е изд. Т. 1-2. М.; 2023. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/> – Дата обращения 09.08.2025.
22. Гусев Н.Ф., Петрова Г.В., Филиппова А.В., Немерешина О.Н. Перспективы использования лекарственных растений в современной России //Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – №. 2(46). – С. 167-170.
23. Денисова С.Г., Реут А.А. Особенности вегетативного размножения хризантемы садовой группы «Мультифлора» 2 // Вестник Красноярского ГАУ, 2024. – № 4. – С. 11-19.
24. Добровольский В.В. Основные черты геохимии цинка и кадмия в биосфере // Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука. – 1992. – С. 7-18.
25. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов) / Б.А. Доспехов – 6-е изд., стереотип. – М.: ИД Альянс. – 2011. – 352 с.
26. Дурынина Е. П., Егоров В. С. Агрохимический анализ почв, растений, удобрений //М.: изд-во МГУ. – 1998. – С. 113.

27. Журбицкий, З.И. Теория и практика вегетационного метода /М.: Наука, 1968. – 260 с.
28. Захаренко, К. А. Влияние минеральных удобрений и биологического стимулятора на фосфорный режим чернозема Красноярской лесостепи // Инновационные тенденции развития российской науки: Материалы XIV Международной научно-практической конференции молодых ученых, Красноярск, 07–09 апреля 2021 года. Том Часть I. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет. – 2021. – С. 62-66.
29. Кириченко Е. Б. Экофизиология мяты: производственный процесс и адаптационный потенциал / Москва: Наука, 2008. – 140 с.
30. Ковалева А. С. Особенности биохимических адаптаций древесных растений на урбанизированных территориях крупного города (на примере Брянска) // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях: Сборник материалов XI Международной научной конференции, Белгород, 15–17 октября 2025 года. – Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2025. – С. 134-140.
31. Кожевина М. Н., Белкина С. В., Ермохин Ю. И. Влияние минеральных удобрений на урожайность лекарственных растений: полыни гладкой и мяты перечной //Омский научный вестник. – 2004. – №. 3 (28). – С. 141-144.
32. Кухарева Л. В., Ярошевич М. И., Гредасова Г. Б. Местные пряно-ароматические растения, их применение и агротехника возделывания // Минск: БелНИИНТИ - Серия. 68.35.45 – 1989. – Т. 68. – С. 48.
33. Кшникаткин С.А., Аленин П.Г., Воронова И.А., Поликарпова А.А. Экологически безопасная технология возделывания расторопши пятнистой //Нива Поволжья. – 2021. – №. 3(60). – С. 60-66.

34. Кы Л. Д., Кириченко Е. Б. Накопление биомассы и изменение содержания эфирных масел в онтогенезе мяты полевой // Бюл. Гл. ботан. сада. – 1988. – №. 151. – С. 71-75.
35. Ларина Г.Е., Гудкова Н.Ю., Михалева С.Н., Калембет И.Н., Евтюхова А.В., Серая Л.Г. Фитомониторинг коллекционных лекарственных растений // Аграрная наука. – 2019. – № S3. – С. 10-14.
36. Луговицкая, Т. Н., Болатбаев К.Н., Островной К.А. Объемные и поверхностные свойства лигносульфоновых кислот и их солей // Журнал прикладной химии. – 2014. – Т. 87, № 4. – С. 433-439.
37. Маланкина Е.Л., Ткачева Е.Н., Козловская Л.Н. Лекарственные растения семейства яснотковые (*Lamiaceae*) как источники флавоноидов // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2018. – Т. 21. – № 1. – С. 30-35.
38. Мингалев С. К., Абрамчук А.В. Культивируемые лекарственные растения. Ассортимент, свойства, технология возделывания : Учебное пособие / Екатеринбург, 2004. – 292 с.
39. Минеев В.Г. Агрохимия: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2004. – 720 с.
40. Минеев В. Г., Сычев В. Г., Амелянчик О. А. Практикум по агрохимии: учеб. пособие / Под ред. В. Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
41. Митрохина О. А. Некорневые обработки посевов озимой пшеницы микроэлементами в различные фазы развития // Земледелие. – 2014. – №. 5. – С. 30-31.
42. Морозов А. И., Загуменников В. Б., Семенихин Д. И. Влияние органо-минеральных удобрений и извести на продуктивность различных сортов мяты перечной // Агрохимия. – 2012. – №. 11. – С. 28-33.
43. Мустяцэ Г. И. Культура мяты перечной // Кишинев: Штиинца. – 1985. – 168 с.

44. Николаева Т.Н., Лапшин П.В., Загоскина Н.В. Метод определения суммарного содержания фенольных соединений в растительных экстрактах с реактивом Фолина-Дениса и реактивом Фолина-Чокальтеу: модификация и сравнение // Химия растительного сырья. – 2021. – № 2. – С. 291-299.

45. ОФС 1.2.2.2.0013 Общая зола. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-2/1-2-2/1-2-2-2/obshchaya-zola/> – Дата обращения: 24.02.2026.

46. ОФС 1.5.3.0009 Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-5/1-5-1/opredelenie-soderzhaniya-tyazhyelykh-metallov-i-myshyaka-v-lekarstvennom-rastitelnom-syre-i-lekarstv/> – Дата обращения: 10.08.2025.

47. Паспорт безопасности химической продукции. Лигносulfонаты технические порошкообразные. РПБ 0027958020.46466В. – Соликамск: АО "Соликамскбумпром", 2021. – 14 с.

48. Патент № 2205166 С1 Российская Федерация, МПК С05F 11/00, С05F 11/02, С08Н 5/00. Способ получения солей гуминовых кислот : № 2001134139/04 : заявл. 19.12.2001 : опубл. 27.05.2003 / Р. Б. Полоскин, Ю. Ю. Поляков, О. А. Гладков [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Научно-производительное объединение "Реализация экологических технологий".

49. Патент № 2258366 С1 Российская Федерация, МПК А01N 25/14, А01N 25/22, А01N 25/30. Гербицидный состав и способ повышения химической стабильности хлорсульфурина в гербицидном смачивающемся порошке : № 2004100977/15 : заявл. 12.01.2004 : опубл. 20.08.2005 / В. М. Кузнецов, Ю. Е. Сапожников, А. М. Давыдов [и др.] ; заявитель Государственное учреждение "Научно-исследовательский технологический

институт гербицидов и регуляторов роста растений с опытно-экспериментальным производством" (НИТИГ).

50. Патент № 2747976 С1 Российская Федерация, МПК С05F 11/02. Способ получения сухого растворимого органо-минерального удобрения на основе гуминовых веществ и микроэлементов в солевой и хелатной форме (варианты) : № 2021103858 : заявл. 16.02.2021 : опубл. 18.05.2021 / Р. Б. Полоскин, А. Н. Ситников ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ».

51. Петухова Е.С., Бердникова Е.А., Колобова В.Д., Тюкалова Ю.А. Ашихмина Т.Я. Изучение влияния ионов меди, цинка, свинца и кадмия на активность каталазы в корнях и листьях ячменя сорта *Hordeum vulgare* L // Перспективы науки - 2017 : Материалы VI Международного заочного конкурса научно-исследовательских работ, Казань, 28 апреля 2017 года / Научный редактор А.В. Гумеров. – Казань: "Рóкета Союз", 2017. – С. 371-377.

52. Писарев Д. И., Новиков О. О. Методы выделения и анализа эфирных масел // Актуальные проблемы медицины. – 2012. – Т. 18. – №. 10 (129). – С. 25-30.

53. Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений, 1968 / М.: «Колос», 1968. – 184 с.

54. Погорелов А. В., Шматок В.И., Мельченко А. И., Лазько В. Э. Тяжелые металлы в окружающей среде и их влияние на сельскохозяйственные растения // Рисоводство. – 2021. – №4 (53). – С. 54-61

55. Поздняков Д.И., Аджихметова С.Л., Червонная Н.М., Оганесян С.О. Сравнительное изучение фенольного состава и антиоксидантной активности полупаразита *Viscum Album* L. и листьев растений – хозяев *Malus Domestica* Borkh., *Pyrus communis* L. // Химия растительного сырья. – 2023. – № 1. – С. 287-296.

56. Позняк С.С. Содержание некоторых тяжелых металлов в растительности полевых и луговых агрофитоценозов в условиях техногенного загрязнения почвенного покрова // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2011. – № 1(13). – С. 123-137.
57. Прохоров И.С. Мониторинг состояния почв города Москвы и предложения по их рекультивации // Почвоведение и агрохимия. – 2015, № 1. – С. 61-68.
58. Реестр пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://opendata.mcx.ru/opendata/7708075454-agrokhimikaty/?q=%D0%B3%D1%83%D0%BC%D0%B0%D1%82&page=2#results> – Дата обращения 04.01.2025.
59. Реут А. А., Аллаярова И. Н., Биглова А. Р. Влияние стимулятора роста на биолого-морфологические параметры многолетних травянистых растений // Аграрный вестник Урала. – 2023. – №. 6 (235). – С. 87-97.
60. Реут А.А. Влияние регуляторов роста растений на основные морфологические показатели пионов // Аграрный научный журнал, 2023, № 10. – С. 60-65.
61. Романова Н.Г., Шатилова Т.И., Маланкина Е.Л. Влияние регулятора роста Циркон и микроудобрения Феровит на содержание фенольных соединений в чабреце садовом // Плодородие, 2019, № 3(108). – С. 17-19.
62. Романцова С.В., Гладышева И.В., Вервекина Н.В., Нагорнов С.А., Ликсутина А.П., Корнев А.Ю. Химический стресс сельскохозяйственных растений и способ его снижения // Наука в центральной России. – 2021. – № 4(52). – С. 64-73.
63. Рудой Д.В., Пахомов В.И., Ольшевская А.В., Одабашян М.Ю., Павлов П.Д. Применение эфирных масел в качестве инсектицидов для защиты сельскохозяйственной продукции от вредителей // Политематический

сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – №. 181. – С. 127-144.

64. Руководство по проведению регистрационных испытаний регуляторов роста растений, дефолиантов и десикантов в сельском хозяйстве: производственнопракт. Издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. – 216 с.

65. Савченко О.М., Копытько Я.Ф. Изучение урожайности, содержания эфирного масла и флавоноидов в надземной части мяты длиннолистной (*Mentha longifolia* L. (Huds.)) и возможности экзогенных способов их регуляции // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2021. – Т. 24, № 9. – С. 10-16.

66. Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. – 1928. – Вып.20. – С. 165-177.

67. Синеговская В. Т., Низкий С. Е., Науменко Е. Е. Хлорофилл как критерий устойчивости растений сои к длительному затоплению почвы //Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2022. – Т. 23. – №. 6. – С. 788-795.

68. Сичко Н.О. Изучение биологически активных веществ растений Северо-Западного Кавказа, оказывающих седативное действие //Новые технологии. – 2024. – Т. 20. – № 2. С. 157-169.

69. Скрыпник Л.Н., Пунгин А.В., Алейникова Н.А., Николаева Н.В., Петрова В.М., Данилова М.В. Лекарственные растения природного парка "Виштынецкий" (Калининградская область) как ценный источник биологически активных веществ фенольной природы //Успехи современного естествознания. – 2019. – №. 1. – С. 51-56.

70. Соловьева Н.А., Хижняк С.Д., Пахомов П.М. Спектроскопическое определение содержания фенольных соединений в растениях, подверженных антропогенному влиянию //Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия. – 2019. – №. 2. – С. 95-106.

71. Сухоцкая В.В. Агроэкологическая эффективность использования цинка и меди при возделывании эхинацеи пурпурной //Экологические чтения-2020: сборник материалов XI Национальной научно-практической конференции (с международным участием), Омск, 05 июня 2020 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2020. – С. 558-564.

72. Сухоцкая В.В., Жаркова Н.Н., Ермохин Ю.И. Влияние цинковых удобрений на химический состав и качество растений эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea*) //Аграрный вестник Северного Кавказа. – 2018. – №. 4 (34). – С. 128-131.

73. Третьяков Н.Н., Карнаухова Т.В., Паничкин Л.А. Практикум по физиологии растений-3-е изд., перераб. и доп. (Под ред. проф. НН Третьякова). – 1990. – 271 с.

74. Туликов А.М. Статистическое обоснование величины пробных площадок при учете сорных растений в агрофитоценозах //Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2005. – №. 2. – С. 120-134.

75. Уткин А.А. Цинк, свинец и кадмий в системе торфяная низинная почва-растение при полиэлементном загрязнении //Плодородие. – 2009. – №. 3. – С. 48-50.

76. ФС.2.4.0001. Мята перечной листьев масло эфирное [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/2/2-4/myatu-perechnoy-listev-maslo-efirnoe/> – Дата обращения 09.08.2025.

77. ФС.2.5.0029.15. Мята перечной листья *Menthae piperitae folia* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/2/2-5/myatu-perechnoy-listya-menthae-piperitae-folia/?sphrase_id=949376 – Дата обращения 17.11.2025.

78. Цибизова А.А., Мурталиева В.Х., Сергалиева М.У. Оценка антиоксидантной и антирадикальной активности экстракта корней *Limonium gmelinii* (Wild.) Kuntze //Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2024. – Т. 10. – №. 1. – С. 253-261.
79. Чупахина Г.Н., Масленников П.В., Скрыпник Л.Н., Мальцева Е.Ю., Полтавская Р.Л. Оценка антиоксидантного статуса лекарственных растений из коллекции Ботанического сада БФУ им. И. Канта (Калининград) //Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. – 2012. – №. 7. – С. 17-23.
80. Шаова Ж.А., Косарев В.Н., Галичева М.С. История изучения эфиромасличных культур //Вестник Майкопского государственного технологического университета. – 2024. – Т. 16. – №. 2. – С. 51-59.
81. Шелепова О.В., Кириченко Е.Б., Бидюкова Г.Ф., Олеханович Л.С., Курилов Д.В., Смирнова И.М., Енина О.Д. Динамика накопления и состав эфирного масла сортов и гибридов мяты, интродуцированных в средней полосе России //Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 2011. – № 14-1(98). – С. 346-351.
82. Шишкова И.А. Землеустройство сельскохозяйственных организаций по производству лекарственных и ароматических растений (на примере центрального федерального округа) : дис. – ИА Шишкова, 2007.
83. Шуваева Т. П., Бородкина А. П. Технология возделывания мяты перечной на Кубани //Масличные культуры. – 2013. – №. 2 (155-156). – С. 101-108.
84. Щукин В.М., Блинкова Е.А., Кузьмина Н.Е., Лутцева А.И. Содержание тяжелых металлов, мышьяка и алюминия в листьях мяты и продуктах на их основе //Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств. – 2022. – Т. 12, №. 2. – С. 193-204.

85. Яхин О.И., Лубянов А.А., Серегин И.В., Яхин И.А. Влияние регуляторов роста на накопление тяжелых металлов и проявление их токсического действия у высших растений // *Агрохимия*. – 2014. – № 12. – С. 61-78.
86. Abbas J. A. The effect of nitrogenous and phosphate fertilizers of the properties on the vegetative growth and aromatical oil yield of local mint (*Mentha spicata* L.) // *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*. – 2009. – Т. 3. – №. 2. – P. 262-265.
87. Aktsoglou D. C., Kasampalis D.S., Sarrou E., Tsouvaltzis P., Chatzopoulou P., Martens S., Siomos A.S. Protein hydrolysates supplement in the nutrient solution of soilless grown fresh peppermint and spearmint as a tool for improving product quality // *Agronomy*. – 2021. – Т. 11. – №. 2. – P. 317.
88. Barzin G., Azadnafs N., Bishekolaei R. Effect of calcium on improving zinc tolerance in hydroponically grown *Mentha longifolia* L. through modulation of metabolic pathways and ion homeostasis // *Brazilian Journal of Botany*. – 2024. – Т. 47. – №. 3. – P. 823-835.
89. Baslas R.K. Studies on the influence of various factors on the essential oil from the plants of *Mentha piperita* // *Flavour Industry*. – 1970. – Vol. 1. – №3 – P. 185-187.
90. Baurai R., Singh G., Raverkar K.P., Bhatnagar A., Chaturvedi S. Exploring the Effect of Humic Acid on Chlorophyll Levels in Japanese Mint under Drip and Flood Irrigation Amidst Water and Nutrient Constraints // *International Journal of Plant & Soil Science*. – 2024. – Т. 36. – №. 2. – P. 207-213.
91. Canellas L. P., Olivares F.L., Canellas N.O.A., Jindo K., Rosa R.C.C., Piccolo A. Challenge of transition: the history of a case study involving tropical fruits polyculture stimulated by humic acids and plant-growth promoting bacteria // *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. – 2022. – Т. 9. – №. 1. – P. 76.

92. Chang L. Wu Y., Xu W.W., Nikbakht A., Xia Y.P. Effects of calcium and humic acid treatment on the growth and nutrient uptake of Oriental lily // *African Journal of Biotechnology*. – 2012. – T. 11. – №. 9. – P. 2218-2222.
93. Conselvan G.B., Pizzeghello D., Francioso O., Di Foggia M., Nardi S, Carletti P. Biostimulant activity of humic substances extracted from leonardites // *Plant Soil*. 2017. – T. 420, №1. – P. 119–134
94. Dagari M. S., Musa M. S., Nuhu N. A. The effects of Ethylene Diamine Tetraacetic Acid (EDTA) on uptake of zinc (Zn^{2+}) and copper (Cu^{2+}) by hydroponically grown mint leaf (*Mentha piperita* L.) // *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*. – 2019. – T. 12. – №. 1. – C. 401-406.
95. Ertani A., Francioso O., Tugnoli V., Right V., Nardi S. Effect of commercial lignosulfonate-humate on *Zea mays* L. metabolism // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2011, T. 59, № 22. – P. 11940-11948.
96. Ertani A., Nardi S., Francioso O., Pizzeghello D., Tinti A., Schiavon M. Metabolite-targeted analysis and physiological traits of *Zea mays* L. in response to application of a leonardite-humate and lignosulfonate-based products for their evaluation as potential biostimulants // *Agronomy*. – 2019. – T. 9, № 8. – P. 445.
97. Evangelou M.W.H., Daghan H., Schaeffer A. The influence of humic acids on the phytoextraction of cadmium from soil // *Chemosphere*. – 2004. – V. 57. – P. 207–213.
98. Eyheraguibel B., Silvestre J., Morard P. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize // *Bioresource technology*. – 2008. – T. 99. – №. 10. – P. 4206-4212.
99. Gupt N.K., Kumar R., Singh A. Impact of nitrogen and phosphorus nutrient management on the biochemical composition and yield attributes of mint (*Mentha arvensis* L.) essential oils // *International Journal of Research in Agronomy* – 2025. – № 8(1) – P. 266-272.

100. Hassan H., Tawfeeq A. The role of silicon and salt stress in some vegetative traits and mineral content of mint plant *Mentha piperita* L //Tikrit Journal for Agricultural Sciences. – 2023. – T. 23. – №. 2. – P. 182-189.
101. Hendawy S. F., Hussein M.S., El-Gohary A.E., Ibrahim M.E. Effect of foliar organic fertilization on the growth, yield and oil content of *Mentha piperita* var. *citrata* //Asian Journal of Agricultural Research. – 2015. – T. 9. – №. 5. – P. 237-248.
102. Khan S., Cao Q., Chen B.-D., Zhu Y.-G. Humic acids increase the phytoavailability of Cd and Pb to wheat plants cultivated in freshly spiked, contaminated soil // J. Soils Sediments. – 2006. – V. 6. № 4. – P. 236–242.
103. Jia-min L.I.A.N.G., Peng-ju H. U. O., Tao G.U.O., Li-dan Z.H.A.N.G., Xiao-lin F.A.N., Shao-long S.U.N. Effects of lignin-based humic acid liquid fertilizer on soil biochemistry and banana seedling growth //Journal of Plant Nutrition and Fertilizers. – 2023. – T. 29. – № 5. – P. 980–990.
104. Liu Y M, Feng Q J, Niu X. The characters and problems of Chinese GAP cultivation of traditional medical material // J Shanxi Coll Tradit Chin Med. – 2002. – №3. – P. 46-48
105. Majkowska-Gadomska J., Kaliniewicz Z., Mikulewicz E., Francke A., Jadwisieńczyk K. K., Marks M., Choszcz D. J., Kozłowski W. Effect of Different Sustainable Cultivation Methods on the Biometric Parameters and Yield of Mint //Sustainability. – 2024. – T. 16. – №. 16. – P. 7126-7137.
106. Moi La Ding, Luu Dam Cu. Ky thuat trong cay, cham soc va ching cat doi voi hai going bac ha NV 74 va NV 76 thuoc loai *Mentha arvensis* L. // Ibib. – 1980 – P. 13
107. Nardi S., Pizzeghello D., Schiavon M., Ertani A. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism //Scientia Agricola. – 2016. – T. 73. – № 1. – P. 18–23.

108. 9. Nardi S., Ertani A., Francioso O. Soil–root cross-talking: The role of humic substances //Journal of Plant Nutrition and Soil Science. – 2017. – T. 180. – № 1. – P. 5–13.

109. Nurzyńska-Wierdak R. Does mineral fertilization modify essential oil content and chemical composition in medicinal plants? // Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus. – 2013. – T. 12, № 5. – P. 3-16.

110. O. Elansary H., Mahmoud E.A., El-Ansary D.O., Mattar M.A. Effects of water stress and modern biostimulants on growth and quality characteristics of mint //Agronomy. – 2019. – T. 10. – №. 1. – P. 6.

111. Praszna, L. Effect of N deficiency and ways of eliminating its consequences in pepper mint // Kertgazdasag (Hungary). – 1992. – №24(1). –P. 67-73.

112. Ramakrishna M.B.V., Mital B.K., Gupta K.C., Sand A.N. Determination of phenolic acids in different soybean varieties by reversed phase high performance liquid chromatography // Journal of Food Science and Technology. – 1989. – T. 26. – P. 154–155.

113. Rathor P., Gorim L. Y., Thilakarathna M. S. Plant physiological and molecular responses triggered by humic based biostimulants-a way forward to sustainable agriculture //Plant and Soil. – 2023. – T. 492. – №. 1. – P. 31-60.

114. Riachi L. G., De Maria C. A. B. Peppermint antioxidants revisited //Food chemistry. – 2015. – T. 176. – P. 72-81.

115. Roosta H. R., Hosseinkhani M., Shahrabaki M.A.V. Effects of foliar application of nano-fertile fertilizer containing humic acid on growth, yield and nutrient concentration of mint (*Mentha sativa*) in aquaponic system //Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture. – 2016. – T. 6. – №. 24. – P. 1-10.

116. Rostami G., Moghaddam M., Saeedi Pooya E., Ajdanian L. The effect of humic acid foliar application on some morphophysiological and biochemical

characteristics of spearmint (*Mentha spicata* L.) in drought stress conditions //Environmental Stresses in Crop Sciences. – 2019. – T. 12. – №. 1. – P. 95-110.

117. Roupheal Y., Kyriacou M.C., Petropoulos S.A., De Pascale S., Colla G. Improving vegetable quality in controlled environments // Scientia Horticulturae. – 2018. – No. 234. – P. 275-289.

118. Sanghamitra M., Bhaskar V.V., Rao A.V.D.D., Subbaramamma P. Effect of different sources and levels of potassium on yield and carotenoids content of African Marigold (*Tagetes erecta* Linn.) cv. “Maxima Yellow” // Plant Archives – 2015 – №15 – P. 633-636.

119. Santos W. D., Ferrarese M. L. L., Ferrarese-Filho O. Ferulic acid: an allelochemical troublemaker //Functional Plant Science and Biotechnology. – 2008. – T. 2. – № 1. – P. 47–55.

120. Sarkic A., Stappen I. Essential oils and their single compounds in cosmetics—A critical review //Cosmetics. – 2018. – T. 5. – №. 1. – P. 11.

121. Singh J. N., Singh D. P. Studies in the mineral nutrition of Japanese mint //Plant and Soil. – 1968. – T. 28. – №. 2. – P. 363-371.

122. Singh J. N., Singh D. P. Effects of phosphate fertilization and seasonal variations on japanese mint: (*M. arvensis* L. var. piperascens) //Soil Science and Plant Nutrition. – 1970. – T. 16. – №. 3. – P. 95-101.

123. Shormin T., Khan M. A. H., Alamgir M. Response of different levels of nitrogen fertilizer and water stress on the growth and yield of Japanese mint (*Mentha arvensis* L.) //Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research. – 2009. – T. 44. – №. 1. – P. 137-145.

124. Shushupti O., Orpa R.S., Tarannum T., Chitra N.N., Suchi S.J.H., Rahman M.K.. Influence of various commercially available organic manures on growth, yield and nutrient accumulation in mint plants (*Mentha* sp.) //Journal of Biodiversity Conservation and Bioresource Management. – 2021. – T. 7. – №. 1. – P. 73-84.

125. Soare R., Dinu M., Babeanu C., Botu M. The influence of foliar fertilization with humic acids-based products on the quality of tomato fruits // Scientific Papers. Series B. Horticulture. – 2024. - T. 68, № 1. – P. 511-515.
126. Souza M.A.A., Araujo O.J., Brito D.M., Fernandes M.S., Castro R.N., Souza S.R. Chemical composition of the essential oil and nitrogen metabolism of menthol mint under different phosphorus levels // American Journal of Plant Sciences. – 2014. – T. 5, №5. – P. 2312-2322.
127. Soviguidi D. R. J., Pan R., Liu Y., Rao L., Zhang W., Yang X. Chlorogenic acid metabolism: The evolution and roles in plant response to abiotic stress //Phyton. – 2022. – T. 91. – № 2. – P. 239.
128. Srirattanakul T., Siripongvutikorn S., Sae-wong C. Increasing of bioactive compounds in *Mentha cordifolia* Opiz., kitchen mint via ZnSO₄ biofortification during plantation //Functional Foods in Health and Disease. – 2016. – №6. – P. 279-290.
129. Straumite E., Kruma Z., Galoburda R. Pigments in mint leaves and stems // Agronomy Research. – 2015. – V.13(4). – P. 1104-1111
130. Tahmasebi-sarvestani Z., Pirdashti H., Mokhtassi-bidgoli A., Hazrati S. Study of Diversity and Estimation of Leaf Area in Different Mint Ecotypes Using Artificial Intelligence and Regression Models under Salinity Stress Conditions //Journal of Crop Breeding. – 2019. – T. 11. – №. 32. – P. 59-73.
131. Trevisan S., Francioso O., Quaggiotti S., Nardi S. Humic substances biological activity at the plant-soil interface: from environmental aspects to molecular factors // Plant Signaling & Behavior. – 2010. – V. 5, № 6. – P. 635–643.
132. Zhang B., Peng Y., Zhang Z., Liu H., Qi Y., Liu S., Xiao P. GAP production of TCM herbs in China //Planta medica. – 2010. – T. 76. – №. 17. – P. 1948-1955.
133. Zhu L X. The relationship research of the Chinese medicine herbs implement GAP cultivation and the superior medicine herbs. // Lishizhen Med Mater Med Res. – 2006. – T. 17. – C. F0003-F0004

ПРИЛОЖЕНИЯ



Рисунок П.1. Закладка мелкоделяночного опыта (опыт 1) на территории почвенного стационара факультета Почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова в 2022 г.



Рисунок П.2. Мелкоделяночный опыт на второй год исследования на территории почвенного стационара факультета Почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова в июле 2023 г.



Рисунок П.3. Вегетационный опыт исследования на территории Вегетационного домика кафедры агрохимии и биохимии растений факультета Почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова 2023 г. Варианты слева направо: 1) контроль, 2) NPK+МЭ, 3) Лг1+ NPK+МЭ, 4) Лг2+ NPK+МЭ, 5) Лсф1+ NPK+МЭ, 6) Лсф2+ NPK+МЭ.



Рисунок П.4. Вегетационный опыт исследования на территории Вегетационного домика кафедры агрохимии и биохимии растений факультета Почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова 2023 г. Варианты слева направо: 1) контроль, 2) Лг1+ NPK, 3) Лг2+ NPK, 4) Лг1+ NPK+МЭ, 5) Лг2+ NPK+МЭ.

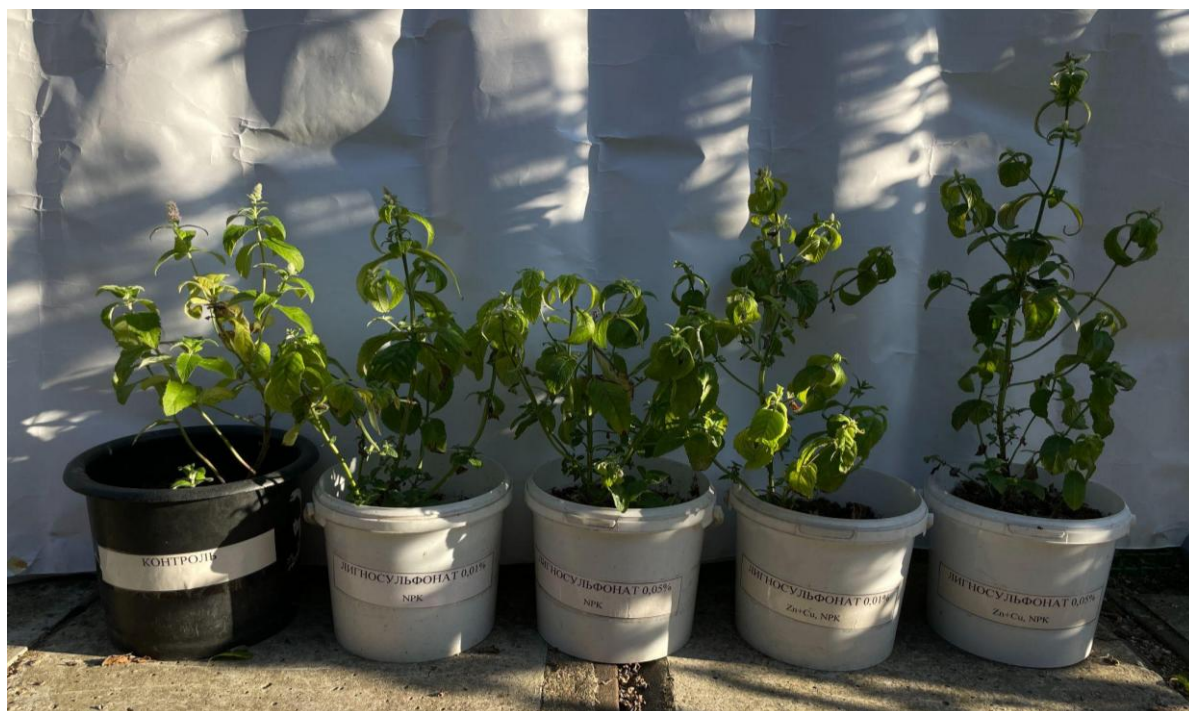


Рисунок П.5. Вегетационный опыт исследования на территории Вегетационного домика кафедры агрохимии и биохимии растений факультета Почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова 2023 г. Варианты слева направо: 1) Контроль, 2) Лсф1+ NPK, 3) Лсф2+ NPK, 4) Лсф1+ NPK+МЭ, 5) Лсф2+ NPK+МЭ.



Рисунок П.6. Делянка с контрольным вариантом мелкоделяночного опыта на территории почвенного стационара факультета Почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова в начале июля 2024 г. Фото снято с фокусным расстоянием 0,5х.

Таблица П.1. Среднедекадная температура воздуха в период исследований 2022-2024 гг., °С. Данные указаны за период вегетации растений

Месяц	Декада	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Май	<i>I</i>	-	7,4	6,8
	<i>II</i>	-	15,1	11,7
	<i>III</i>	-	15,4	19,3
Июнь	<i>I</i>	-	14,8	19,8
	<i>II</i>	-	18,3	19,7
	<i>III</i>	-	17,3	20,1
Июль	<i>I</i>	-	20,7	24,5
	<i>II</i>	-	16,4	23,5
	<i>III</i>	-	18,5	19,9
Август	<i>I</i>	-	23,1	-
	<i>II</i>	22,1	-	-
	<i>III</i>	23,0	-	-
Сентябрь	<i>I</i>	9,3	-	-
	<i>II</i>	11,4	-	-
	<i>III</i>	9,4	-	-

Таблица П.2. Среднедекадное количество осадков в период исследований 2022-2024 гг., мм. Данные указаны за период вегетации растений

Месяц	Декада	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Май	<i>I</i>	-	5,5	25,8
	<i>II</i>	-	3,7	6,2
	<i>III</i>	-	20,9	12

Продолжение таблицы П.2				
Июнь	<i>I</i>	-	30,0	60,8
	<i>II</i>	-	2,4	98,4
	<i>III</i>	-	59,4	7,5
Июль	<i>I</i>	-	9,2	21,5
	<i>II</i>	-	83,1	23,6
	<i>III</i>	-	92,7	23,6
Август	<i>I</i>	-	6,7	-
	<i>II</i>	0,3	-	-
	<i>III</i>	0,5	-	-
Сентябрь	<i>I</i>	8,5	-	-
	<i>II</i>	27,7	-	-
	<i>III</i>	49,4	-	-

Таблица П.3. Количество соцветий в момент уборки урожая мяты перечной за 2023-2024 гг. (мелкоделяночный опыт), шт./0,25 м².

Варианты	Среднее количество соцветий	
	2023 г.	2024 г.
Контроль	61	266
НРК + МЭ	289	655
Лг1 + НРК	334	512
Лг1 + НРК + МЭ	335	777
Лг2 + НРК	189	566
Лг2 + НРК + МЭ	445	616
Лс1 + НРК	227	425
Лс1 + НРК + МЭ	257	691
Лс2 + НРК	203	636
Лс2 + НРК + МЭ	357	469

Таблица П.4. Сырая и сухая масса соцветий у мяты перечной при срезке растений после завершения мелкоделяночного опыта в 2024 г., ц/га. Для двухфакторного ДА: фактор А – фолитарная обработка, фактор Б – корневое внесение удобрений, А*Б – взаимодействие двух факторов, $\alpha=0,1$

Вариант		Сырая масса соцветий	Сухая масса соцветий	Отклонение от контроля, %	
				Сырая масса	Сухая масса
		2024 г.	2024 г.	2024 г.	2024 г.
Контроль		21,5	6,2	100	100
NPK + МЭ		62,8	16,8	+191	+169
Лг1 + NPK		34,1	9,9	+58	+58
Лг1 + NPK + МЭ		80,1	20,3	+272	+226
Лг2 + NPK		43,5	12,3	+102	+97
Лг2 + NPK + МЭ		53,8	13,7	+150	+119
Лс1 + NPK		29,2	8,5	+35	+36
Лс1 + NPK + МЭ		59,6	16,4	+176	+164
Лс2 + NPK		48,1	13,2	+123	+113
Лс2 + NPK + МЭ		45,4	11,7	+111	+88
Фактор А	F	0,5	0,4	-	-
	p	0,76	0,77	-	-
Фактор Б	F	8,5	8,2	-	-
	p	0,00	0,00	-	-
А*Б	F	2,3	2,6	-	-
	p	0,11	0,08	-	-

Таблица П.5. Содержание нитратов в листьях мяты перечной (мелкоделяночный опыт), мг/кг сухой массы.

Вариант	Среднее содержание нитратов		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	536,3	555,7	584,1
НРК + МЭ	443,6	233,8	434,1
Лг1 + НРК	949,1	291,4	482,9
Лг1 + НРК + МЭ	647,5	273,5	421,6
Лг2 + НРК	389,1	279,8	452,7
Лг2 + НРК + МЭ	382,5	217,8	637,9
Лс1 + НРК	394,6	226	488,8
Лс1 + НРК + МЭ	522,1	536,9	476,5
Лс2 + НРК	716,9	218,7	414,7
Лс2 + НРК + МЭ	376,1	265	554,6

Таблица П.6. Среднее содержание азота, фосфора и калия в листьях мяты перечной (мелкоделяночный опыт), % сухой массы

Вариант	Азот			Фосфор			Калий		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022г.	2023г.	2024г.	2022г.	2023г.	2024г.
Контроль	2,93	1,83	1,60	0,68	0,83	0,52	1,48	1,05	1,03
НРК + МЭ	2,96	1,59	1,51	0,71	0,74	0,39	1,69	0,97	0,83
Лг1 + НРК	3,33	1,73	1,61	0,76	0,76	0,42	1,51	0,95	1,16
Лг1 + НРК + МЭ	2,87	1,76	1,58	0,75	0,63	0,40	1,73	1,03	0,86
Лг2 + НРК	2,88	1,80	1,45	0,83	0,74	0,34	1,57	1,00	0,98

Продолжение таблицы П.6									
Лг2 + NPK + МЭ	2,84	1,50	1,57	0,73	0,69	0,36	1,56	0,90	0,83
Лс1 + NPK	3,07	1,72	1,69	0,68	0,59	0,36	1,35	0,93	0,93
Лс1 + NPK + МЭ	2,68	1,68	1,49	0,81	0,67	0,37	1,63	1,00	0,90
Лс2 + NPK	3,16	1,90	1,36	0,68	0,71	0,35	1,33	0,88	0,79
Лс2 + NPK + МЭ	3,14	1,50	1,66	0,69	0,75	0,37	1,65	0,90	1,01

Таблица П.7. Содержание цинка, меди и свинца в листьях мяты перечной в мелкоделяночном опыте, мг/кг сухого веса. Стандартное отклонение по всем вариантам не превышает 10%

Вариант	Цинк			Медь			Свинец		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022г.	2023г.	2024г.	2022г.	2023г.	2024г.
Контроль	26,8	37,4	19,9	14,5	11,1	5,3	7,5	8,5	>0,05
NPK + МЭ	18,9	34,1	16,4	8,9	10,1	3,8	2,7	>0,05	>0,05
Лг1 + NPK	21,3	13,5	16,8	13,3	6,0	5,1	13,5	6,0	>0,05
Лг1 + NPK + МЭ	44,3	22,4	17,4	15,1	8,0	3,4	12,2	8,0	>0,05
Лг2 + NPK	34,9	15,5	14,0	10,0	7,0	4,0	7,2	7,0	>0,05
Лг2 + NPK + МЭ	45,3	23,4	21,4	12,1	5,5	3,9	6,2	5,5	>0,05
Лс1 + NPK	39,9	14,4	15,1	11,1	7,0	3,7	15,5	7,0	>0,05

Продолжение таблицы П.7									
Лс1 + NPK + МЭ	36,2	27,2	14,8	11,0	5,6	3,5	5,1	5,6	>0,05
Лс2 + NPK	20,2	17,2	12,7	12,3	5,9	2,7	9,0	5,9	>0,05
Лс2 + NPK + МЭ	18,0	24,5	18,5	11,2	7,0	4,6	6,1	7,0	>0,05
НСР _{0,10}	4,2	2,3	2,0	0,7	1,0	1,4	1,0	0,8	н/д
F	43,74	80,56	12,12	7,38	23,00	12,13	105,48	61,09	н/д

Таблица П.8. Содержание общей золы в сухих листьях мяты перечной, мелкоделяночный опыт, %

Вариант	Зола общая, %			Отклонение от контроля, %		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	19,2	16,3	13,4	100	100	100
NPK + МЭ	15,1	12,8	11,2	-21,5	-21,3	-16,2
Лг1 + NPK	16,6	13,6	12,1	-13,7	-16,2	-10,1
Лг1 + NPK + МЭ	15,9	13,7	12,1	-17,5	-15,4	-9,5
Лг2 + NPK	16,0	13,5	12,2	-17,1	-16,8	-9,0
Лг2 + NPK + МЭ	17,0	14,6	11,9	-11,6	-10,2	-11,5
Лс1 + NPK	17,6	14,3	11,6	-8,8	-12,2	-13,6
Лс1 + NPK + МЭ	15,6	13,9	11,3	-18,9	-14,2	-15,8
Лс2 + NPK	16,8	14,6	11,6	-12,9	-10,3	-13,7
Лс2 + NPK + МЭ	14,8	13,2	12,1	-23,3	-19,0	-10,0

Таблица П.9. Суммарное содержание фенольных соединений в сухих листьях мяты перечной (мелкоделяночный опыт), мг-экв по галловой кислоте /г сухой массы

Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	1,8	13,8	9,4
НРК + МЭ	2,9	4,1	7,5
Лг1 + НРК	1,3	5,5	5,3
Лг1 + НРК + МЭ	3,3	11,9	5,4
Лг2 + НРК	-	3,3	6,1
Лг2 + НРК + МЭ	2,0	4,6	6,1
Лс1 + НРК	2,1	3,4	6,0
Лс1 + НРК + МЭ	1,5	9,0	6,2
Лс2 + НРК	2,4	4,0	6,4
Лс2 + НРК + МЭ	1,6	6,2	5,7
Стандартное отклонение	0,6	3,6	1,2
Коэффициент вариации, %	28,6	54,5	18,8

Таблица П.10. Содержание хлорофилла а и b в листьях мяты перечной в мелкоделяночном опыте, мг/100 г сырой массы.

Вариант	Среднее содержание хлорофилла а			Среднее содержание хлорофилла b		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	78,6	190,4	229,2	23	76,2	81,7
НРК + МЭ	179,2	199,6	226,5	62,6	80,4	69,8
Лг1 + НРК	112,7	210,8	227,1	35,6	118,9	74,5
Лг1 + НРК + МЭ	142,3	210,2	219,6	45,2	108,6	75,1
Лг2 + НРК	140	208,3	232,6	40,2	111,3	84,8

Продолжение таблицы П.10						
Лг2 + NPK + МЭ	142,5	205,6	236,4	45,5	93,2	91,8
Лс1 + NPK	127,6	202,8	217,9	38,5	105,5	68,5
Лс1 + NPK + МЭ	172,4	200,1	210,6	60,9	94	67,9
Лс2 + NPK	88	199,1	208,6	26,5	135,3	73,1
Лс2 + NPK + МЭ	151	203,6	247,9	48	117,1	93,3

Таблица П.11. Содержание суммы хлорофиллов а и b в листьях мяты перечной (мелкоделяночный опыт), мг/100 г сырой массы

Вариант	Среднее содержание суммы хлорофиллов а и b		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	101,6	266,6	310,9
NPK + МЭ	241,8	280	296,3
Лг1 + NPK	148,3	329,7	301,6
Лг1 + NPK + МЭ	187,5	318,8	294,7
Лг2 + NPK	180,2	319,6	317,4
Лг2 + NPK + МЭ	188	298,8	328,2
Лс1 + NPK	166,1	308,3	286,4
Лс1 + NPK + МЭ	233,3	294,1	278,5
Лс2 + NPK	114,5	334,4	281,7
Лс2 + NPK + МЭ	199	320,7	341,2

Таблица П.12. Содержание каротиноидов в листьях мяты перечной (мелкоделяночный опыт), мг/100 г сырой массы

Вариант	Среднее содержание каротиноидов		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	37,8	64,2	83,2
NPK + МЭ	70,37	67,7	91,8
Лг1 + NPK	52,29	54,3	93,0
Лг1 + NPK + МЭ	64,75	58,5	89,6
Лг2 + NPK	63,22	56,7	86,2

Продолжение таблицы П.12			
Лг2 + NPK + МЭ	63,09	63,8	85,6
Лс1 + NPK	56,1	55,9	87,3
Лс1 + NPK + МЭ	66,12	60,6	85,9
Лс2 + NPK	39,6	49,5	90,5
Лс2 + NPK + МЭ	65,7	51,9	79,0

Таблица П.13. Активность каталазы в мг H₂O₂, разложившейся за время инкубации на 1 г свежих листьев мяты перечной (мелкоделяночный опыт)

Варианты	Средняя активность каталазы	
	2023 г.	2024 г.
Контроль	9,1	6,8
NPK + МЭ	15	6
Лг1 + NPK	12,1	7,8
Лг1 + NPK + МЭ	18,9	3,6
Лг2 + NPK	27,2	9,5
Лг2 + NPK + МЭ	19,5	3,5
Лс1 + NPK	13,8	6,8
Лс1 + NPK + МЭ	22,1	2,3
Лс2 + NPK	12,9	6,3
Лс2 + NPK + МЭ	17,7	2

Таблица П.14. Содержание подвижных форм свинца в почвогрунте (ААБ), мг/кг

Вариант	Среднее содержание подвижных форм свинца		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	22,6	15,7	35,3
NPK + МЭ	14,9	12,7	31,9
Лг1 + NPK	24,1	18	26,3
Лг1 + NPK + МЭ	11,9	17,3	11,2
Лг2 + NPK	18,8	18,3	14,2

Продолжение таблицы П.14			
Лг2 + NPK + МЭ	12,7	20	34,3
Лс1 + NPK	25,2	17,1	22,7
Лс1 + NPK + МЭ	16,8	20,9	16,6
Лс2 + NPK	20,5	14,2	12,3
Лс2 + NPK + МЭ	14,3	18	18,3

Таблица П.15. Сырая надземная масса мяты перечной после уборки вегетационных опытов, г/растение

Вариант	Средняя сырая надземная масса		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	5,6	7,8	6,2
NPK + МЭ	7,2	18,6	25,7
Лг1 + NPK	5,7	20	22,4
Лг1 + NPK + МЭ	5,5	18,2	24,1
Лг2 + NPK	4,5	18,7	23,8
Лг2 + NPK + МЭ	6,6	17,6	24,8
Лс1 + NPK	9,4	22,8	28,8
Лс1 + NPK + МЭ	6,0	15,6	25,0
Лс2 + NPK	7,5	22,2	22,3
Лс2 + NPK + МЭ	5,7	19,2	25

Таблица П.16. Содержание цинка и меди в листьях мяты перечной, выращенной в вегетационном опыте, мг/кг сухого веса

Вариант	Цинк, мг/кг			Медь, мг/кг		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	35,9	37,2	27,0	8,4	3,0	1,8
NPK + МЭ	88,3	70,2	44,2	19,0	9,7	4,5
Лг1 + NPK	35,7	33,5	35,3	7,6	2,2	1,3
Лг1 + NPK + МЭ	68,5	46,2	43,2	14,4	9,8	4,6

Продолжение таблицы П.16						
Лг2 + NPK	35,7	24,1	27,1	12,1	1,5	1,4
Лг2 + NPK + МЭ	63,2	67,4	38,5	14,5	11,0	4,1
Лс1 + NPK	25,3	35,8	27,0	5,8	1,8	1,1
Лс1 + NPK + МЭ	64,0	57,5	31,1	12,5	11,2	3,9
Лс2 + NPK	32,8	29,2	26,6	4,8	1,5	1,5
Лс2 + NPK + МЭ	67,8	51,6	39,0	12,7	12,1	4,8

Таблица П.17. Содержание общей золы в сухих листьях мяты перечной, выращенной в вегетационном опыте, %

Вариант	Зола общая, %			Отклонение от контроля, %		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	10,6	9,4	11,4	100	100	100
NPK + МЭ	10,9	11,4	10,5	+3	+22	-7,7
Лг1 + NPK	11,3	12,3	10,4	+7	+32	-9
Лг1 + NPK + МЭ	9,5	8,6	10,0	-10	-8	-13
Лг2 + NPK	10,3	9,4	10,8	-2	+0,5	-5
Лг2 + NPK + МЭ	9,3	9,9	9,1	-12	+6	-20
Лс1 + NPK	10,8	11,7	10,1	+2	+25	-11
Лс1 + NPK + МЭ	8,7	8,7	8,9	-17	-6,4	-22
Лс2 + NPK	10,6	11,7	9,1	+0,4	+25	-20
Лс2 + NPK + МЭ	10,0	9,3	10,9	-6	-1	-4

Таблица П.18. Содержание суммы хлорофиллов а и в в листьях мяты перечной, выращенной в вегетационном опыте, мг/100 г сырой массы

Варианты	Среднее содержание суммы хлорофиллов	
	2023 г.	2024 г.
Контроль	280,5	355,6

Продолжение таблицы П.18		
НРК + МЭ	275,5	412,8
Лг1 + НРК	285,1	327,5
Лг1 + НРК + МЭ	266,9	419,9
Лг2 + НРК	281,2	436
Лг2 + НРК + МЭ	305,9	414,5
Лс1 + НРК	275,9	364,6
Лс1 + НРК + МЭ	284,9	416,5
Лс2 + НРК	281,1	432,6
Лс2 + НРК + МЭ	286,1	382,4

Таблица П.19. Результаты проверки допущений для ОДА на однородность дисперсий по критериям Хартли, Кохрена и Бартлетта для сырой массы мелкоделяночного опыта.

Год	Критерий Хартли	Критерий Кохрена	Критерий Бартлетта	р (вероятность превышения)
2022 г.	20,4	0,2	6,7	0,66
2023 г.	54,1	0,3	13,6	0,14
2024 г.	43,7	0,4	8,9	0,45

Таблица П.20. Достоверность влияния фолиарной обработки (фактор А) и корневое внесения удобрений (фактор Б) и их взаимодействия на агрохимические показатели почвогрунта (подвижные соединения) в конце вегетации растений (дисперсионный анализ ANOVA)

Фактор	P2O5		K2O		Pb		Zn		Cu	
	2022 г.									
	F	р	F	р	F	р	F	р	F	р
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

Продолжение таблицы П.20										
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

Таблица П.21. Сравнение средних по грациям фактора «фолиарная обработка» для подвижного свинца в почвогрунте (LSD-test (HCP) дисперсионный анализ ANOVA). В таблице представлены вероятности превышения, красным цветом выделены пары вариантов, у которых средние достоверно отличаются, $\alpha=0,1$

Фолиарная обработка	Нет	Лг1	Лг2	Лс1	Лс2
2022 г.					
Нет	н/д	0,361	0,289	0,559	0,667
Лг1	0,361	н/д	0,875	0,150	0,192
Лг2	0,289	0,875	н/д	0,116	0,149
Лс1	0,559	0,150	0,116	н/д	0,875
Лс2	0,667	0,192	0,149	0,875	н/д
2023 г.					
Нет	н/д	0,166	0,059	0,065	0,425
Лг1	0,166	н/д	0,540	0,578	0,523
Лг2	0,059	0,540	н/д	0,953	0,224

Продолжение таблицы П.22					
Лс1	0,065	0,578	0,953	н/д	0,244
Лс2	0,425	0,523	0,224	0,244	н/д
2024 г.					
Нет	н/д	0,000	0,005	0,000	0,000
Лг1	0,000	н/д	0,060	0,736	0,211
Лг2	0,005	0,060	н/д	0,107	0,006
Лс1	0,000	0,736	0,107	н/д	0,123
Лс2	0,000	0,211	0,006	0,123	н/д

Таблица П.22. Достоверность влияния foliarной обработки (фактор А) и корневое внесения удобрений (фактор Б) и их взаимодействия на физиолого-биохимические показатели мяты перечной для 9 вариантов опыта без Контроля (дисперсионный анализ ANOVA)

Фактор	Сырая масса, ц/га		Цинк в листьях, мг/кг		Общая зола, %	
	Мелкоделяночный опыт					
	2022 г.					
	F	p	F	p	F	p
Фактор А	0,9	0,50	69,4	0,00	4,7	0,02
Фактор Б	9,9	0,01	33,9	0,00	25,4	0,00
А*Б	0,4	0,75	28,0	0,00	15,9	0,00
2023 г.						
Фактор А	0,4	0,78	27,4	0,00	18,6	0,00
Фактор Б	4,6	0,05	213,8	0,00	2,2	0,17
А*Б	1,3	0,29	3,8	0,05	34,5	0,00
2024 г.						
Фактор А	1,3	0,30	5,0	0,02	5,8	0,01
Фактор Б	3,6	0,07	37,9	0,00	0,0	0,88
А*Б	2,3	0,11	11,9	0,00	2,1	0,17

Продолжение таблицы П.23						
Вегетационный опыт						
	2022 г.					
Фактор А	6,4	0,00	166,6	0,00	9,2	0,00
Фактор Б	4,8	0,04	3245,6	0,00	55,6	0,00
А*Б	10,1	0,00	15,8	0,00	3,3	0,07
	2023 г.					
Фактор А	0,3	0,85	168,1	0,00	36,4	0,00
Фактор Б	3,9	0,06	3432,5	0,00	258,6	0,00
А*Б	0,7	0,59	230,5	0,00	47,5	0,00
	2024 г.					
Фактор А	0,2	0,92	120,9	0,00	9,8	0,00
Фактор Б	0,0	0,90	553,6	0,00	13,3	0,01
А*Б	0,2	0,89	24,7	0,00	49,4	0,00