

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи



Боровик Роман Андреевич

**Влияние известкования и фосфорных удобрений
на рост и минеральное питание
сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L.)**

Специальность 06.01.04 – «Агрохимия»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Москва – 2020

Работа выполнена на кафедре агрохимии и биохимии растений факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова

Научный руководитель *Большева Татьяна Николаевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры агрохимии и биохимии растений.*

Официальные оппоненты *Плеханова Ирина Овакимовна, доктор биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», факультет почвоведения, кафедра земельных ресурсов и оценки почв, лаборатория экологического нормирования и оценки почв, ведущий научный сотрудник.*

Серегина Инга Ивановна, доктор биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», факультет почвоведения, агрохимии и экологии, кафедра агрономической, биологической химии и радиологии, профессор.

Малюкова Людмила Степановна, доктор биологических наук, профессор РАН, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук», лаборатория агрохимии и почвоведения, главный научный сотрудник.

Защита диссертации состоится «8» декабря 2020 г. в 17 часов 00 минут на заседании диссертационного совета МГУ.03.13 Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова по адресу 119991, г. Москва, ул. Ленинские горы, д. 1, стр. 12, МГУ имени М. В. Ломоносова, биологический факультет, аудитория М-1.

E-mail: nvkostina@mail.ru, тел.: 8 (495) 939 35 46

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27).

Со сведениями о регистрации участия в защите в удалённом интерактивном режиме и с диссертацией в электронном виде также можно ознакомиться на сайте ИАС «ИСТИНА»: <https://istina.msu.ru/dissertations/326795493/>

Автореферат разослан «5» ноября 2020 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета, кандидат
биологических наук.



Н.В. Костина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Сирень обыкновенная является одним из наиболее популярных цветущих кустарников, используемых для озеленения городского ландшафта. Сирень в культуре неприхотлива и удовлетворительно растёт в различных почвенно-климатических условиях России (Лунёва, 1989; Fiala, 1988). В условиях интенсивной урбанизации для поддержания благоприятной экологической обстановки необходимо расширение площади городских зелёных насаждений. Сирень обыкновенная благодаря своей декоративности и выносливости широко используется в озеленении городов и пользуется спросом в питомниках декоративных растений (Колесников, 1974). Под воздействием антропогенных факторов, а также из-за отсутствия научно-обоснованных рекомендаций по применению минеральных удобрений и известковых материалов, свойства почв под посадками сирени могут ухудшаться – снижается их кислотность, в корнеобитаемой зоне накапливается значительное количество фосфора и кальция. В таких условиях у растений возникает дисбаланс элементов питания, который сопряжён с ухудшением их роста, повышением заболеваемости и развитием хлорозов. В конечном итоге снижается качество посадочного материала и городских насаждений.

Степень разработанности темы исследования. Особенности минерального питания сирени обыкновенной в настоящее время изучены недостаточно. В научной литературе отсутствует информация об оптимальных уровнях содержания питательных элементов в почве и в вегетативных органах для данной культуры. Данные о взаимосвязи биометрических параметров кустов сирени и минерального питания разрозненны и немногочисленны. Рекомендации по удобрению сирени и применению известковых материалов, предлагаемые в научной литературе, претендуют на универсальность и практически не учитывают сортовых и возрастных особенностей растений, а также свойств почв. Основной рекомендацией в научной и научно-популярной литературе посвящённой выращиванию и удобрению сирени является обязательное известкование почв и внесение высоких доз фосфорно-калийных удобрений (Lindgren et al., 2008; Jull, 2007, Cathey 1980; Белорусец, Горб, 1990; Громов, 1963). Необходимость применения азотных удобрений отмечается лишь единичными авторами (Лунёва, 1989; Громов, 1963).

Цель исследования: изучить влияние известкования и применения фосфорных удобрений на рост и минеральное питание сирени обыкновенной при выращивании в городских условиях и условиях питомника.

Задачи:

1. Изучить особенности роста и минерального питания старовозрастных растений сирени обыкновенной, произрастающих в городских условиях на зафосфаченных почвах с нейтральной реакцией среды.

2. Изучить эффективность использования некорневых подкормок минеральными удобрениями при коррекции дефицита элементов питания, возникающего у старовозрастных растений сирени на зафосфаченных почвах с нейтральной реакцией среды.

3. Изучить влияние возрастающих доз извести на рост и минеральное питание молодых растений сирени обыкновенной при выращивании в условиях питомника.

4. Изучить влияние высоких доз фосфорных удобрений на рост и минеральное питание молодых растений сирени обыкновенной при выращивании в условиях питомника.

5. Изучить влияние комплексных минеральных удобрений на рост и минеральное питание молодых растений сирени обыкновенной при выращивании в условиях питомника на фоне возрастающих доз извести и повышенных доз фосфорных удобрений.

6. Изучить эффективность почвенной диагностики при оценке обеспеченности растений сирени элементами минерального питания на зафосфаченных почвах и/или почвах с нейтральной реакцией среды.

Научная новизна исследования:

1. Впервые показано негативное влияние избыточного известкования и снижения кислотности почвенной среды до нейтральной на рост, минеральное питание, фотосинтетическую активность и устойчивость к фитопатогенам сирени обыкновенной.

2. Показано отрицательное влияние применения высоких доз фосфорных удобрений при выращивании саженцев сирени обыкновенной на её рост, азотное питание и фотосинтетическую активность.

3. Продемонстрирована неэффективность почвенной диагностики в оценке обеспеченности старовозрастных и молодых растений сирени элементами минерального питания на зафосфаченных почвах и почвах с нейтральной реакцией среды.

4. Собран обширный материал по содержанию основных макро- и микроэлементов в листьях старовозрастных и молодых растений сирени.

Теоретическая и практическая значимость. Результаты диссертационной работы расширяют и углубляют существующие представления о минеральном питании сирени обыкновенной, обосновывают необходимость рационального применения минеральных удобрений для достижения хороших декоративных качеств данной культуры, а также показывают необходимость проведения комплексной листовой и почвенной диагностики при оценке обеспеченности сирени элементами минерального питания. Полученные результаты могут быть использованы для разработки системы удобрения сирени обыкновенной при выращивании в питомниках декоративных растений, а также при планировании мероприятий по агрохимическому сопровождению городских зелёных насаждений с использованием современных форм минеральных удобрений.

Положения, выносимые на защиту:

1. Известкование почв под сиренью обыкновенной в дозе, перекрывающей гидролитическую кислотность, ухудшает питание растений азотом, магнием и микроэлементами, снижает биометрические показатели и декоративную ценность.

2. При выращивании сирени обыкновенной избыточное применение фосфорных удобрений (в дозе от 90 г. P_2O_5/m^2) ухудшает азотное питание и снижает биометрические показатели растений.

3. Общепринятые методы агрохимического анализа почв малоэффективны при оценке обеспеченности растений сирени элементами минерального питания, произрастающих на зафосфаченных почвах или почвах с нейтральной реакцией среды.

Методология исследования основывается на использовании полевых, лабораторных и статистических методов исследования по общепринятым методикам.

Личный вклад автора. В диссертационной работе использованы материалы, полученные лично автором, а также данные исследований, выполненные при его непосредственном участии.

Степень достоверности результатов обеспечивается проведёнными на протяжении 6 лет полевыми исследованиями с использованием общепринятых методик и подтверждается обработкой полученных результатов методами математической статистики.

Апробация работы. Результаты исследований и положения работы были представлены докладами на международных конференциях «SUITMA 9 CONGRESS» (Москва, 2017), «Smart and Sustainable Cities» (Москва, 2019), а также на заседаниях кафедры агрохимии и биохимии растений факультета почвоведения МГУ (2015-2019).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 5 печатных работ, отражающих основные положения исследования, среди которых – 3 статьи в рецензируемых журналах из списков RSCI, Web of Science, Scopus и дополнительного списка Перечня МГУ.

Структура работы. Диссертационная работа изложена на 147 страницах. Состоит из введения, четырёх глав, выводов. Содержит 28 таблиц, 60 рисунков. Библиографический список включает 79 наименований, в том числе 51 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю Татьяне Николаевне Большевой за мудрое руководство и помощь на всех этапах работы, коллективу кафедры агрохимии и биохимии растений за ценные советы и замечания, а также сотрудникам Ботанического сада МГУ за помощь в проведении полевых опытов.

ГЛАВА 1. СИРЕНЬ ОБЫКНОВЕННАЯ. АГРОТЕХНИКА И МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе даётся подробное описание вида сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris* L.) – ботаническая характеристика, особенности экологии и географии. Рассмотрены вопросы происхождения сирени и основные исторические этапы введения в культуру. Собрана информация о приёмах агротехники и удобрения сирени в мировой и отечественной практике. Особое внимание уделено анализу доступности элементов минерального питания корням в различных

почвенных условиях, взаимодействию элементов питания между собой в почве и в растениях, а также применению некорневых подкормок, как способа коррекции дефицита питательных элементов. Проведённый обзор литературных источников показал недостаточную изученность вопросов минерального питания сирени, отсутствие научного обоснования многих агротехнических приёмов и рекомендаций по удобрению данной культуры. Данные о содержании элементов питания в вегетативных органах сирени практически отсутствуют в научной литературе.

ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Перечень методов агрохимического анализа почв, химического анализа растений, биометрических измерений и статистической обработки данных

Изучение влияния извести и фосфора на рост и минеральное питание сирени проводилось на старовозрастных кустах и саженцах. В соответствующем разделе диссертации представлен список общепринятых методик агрохимического анализа почв и химического анализа растений (Практикум по агрохимии, 2001), которые использовали для определения уровня минерального питания сирени. Также описаны способы замера биометрических показателей (прироста побегов текущего года, массы листьев и т.п.) и определения степени поражённости листовых пластин фитопатогенами. Эти показатели не только отражают уровень минерального питания, но и характеризуют внешний облик растений – густоту кроны, здоровый зелёный цвет листвы, т.е. качества, формирующие декоративную ценность сирени вне периода цветения.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программных пакетов MS Office Excel 2016, StatSoft Statistica v.10.0, R Studio v.1.2. Были использованы следующие методы математической статистики: сравнение средних с использованием критерия Стьюдента (t-тест), однофакторный и многофакторный дисперсионный анализ, корреляционный анализ.

2.2. Изучение минерального питания старовозрастных растений сирени на зафосфаченных почвах с нейтральной реакцией среды

Изучение роста и минерального питания старовозрастных растений сирени проводили в посадках Ботанического сада МГУ, посадках, произрастающих на парковой территории МГУ и в парке «Сиреневый сад» на Щелковском шоссе. В Ботаническом саду МГУ изучали два основных участка – коллекционные посадки сирени, под которые регулярно вносили минеральные удобрения и известь, и неколекционные посадки сирени, расположенные недалеко от основной коллекции, которые не удобрялись и не известковались длительное время. Согласно данным, предоставленным отделом озеленения Измайловского парка, почвы в Сиреновом саду также длительное время не известковались и не удобрялись. Почвы под посадками сирени на парковой территории МГУ подвержены интенсивной антропогенной нагрузке – воздействию загрязнителей, моющих средств и антигололёдных реагентов, которые значительно влияют на содержание элементов питания и кислотно-основные свойства. У растений сирени в основной коллекции Ботанического сада и на парковой территории МГУ наблюдалось обширное развитие хлорозов на листьях, в то время как в неколекционных посадках Ботанического сада и на территории Сиреневого сада листва растений была здоровой. Для установления причин возникновения хлорозов у исследуемых растений определялось содержания основных макро- и микроэлементов в листьях и проводился отбор образцов почв из приствольного круга для агрохимического анализа.

2.3. Изучение эффективности некорневых подкормок при коррекции дефицита элементов минерального питания у старовозрастных растений сирени

После установления причин появления хлорозов у сирени, на участке основной коллекции Ботанического сада МГУ изучали эффективность применения некорневых подкормок при коррекции дефицита элементов питания, возникшего на фоне неконтролируемого внесения минеральных удобрений и извести. В городских условиях некорневые подкормки более предпочтительны, так как внесение удобрений в почву затруднено из-за того, что взрослые растения сирени развивают мощную корневую систему, уходящую глубоко в почву.

На первом этапе изучали эффективность однократных некорневых подкормок растворами сульфата марганца и хелата железа. Обработка растений растворами микроудобрений проводилась за две недели до цветения. Варианты опыта: 1. контроль, 2. $MnSO_4$ 1 г/л, 3. Хелат-Fe 4 г/л, 4. $MnSO_4$ 1 г/л + Хелат-Fe 4 г/л. Расход рабочего раствора составлял 2 л на куст. После окончания цветения проводили измерение биометрических показателей, отбор листьев и образцов почв из приствольного круга для последующего анализа.

На другом этапе изучили эффективность многократных некорневых подкормок растворами сульфата марганца (II) концентрацией 1,5 г/л и сульфата магния концентрацией 2 г/л при коррекции дефицита элементов питания. Повторность опыта была трёхкратная, в исследовании участвовали сорта сирени, представленных в двух экземплярах. Для учёта сортовых особенностей проводили обработку одного из кустов каждого сорта раствором удобрений согласно схеме опыта, а другой куст того же сорта оставался контрольным. Расход рабочего раствора – 2 литра на куст. Обработку проводили 4 раза за вегетационный сезон начиная с первой недели мая и далее с интервалом в один месяц. Измерение биометрических показателей и отбор образцов листьев проводили за 1-2 дня до каждой подкормки, спустя месяц после последней подкормки и в мае следующего года после цветения. В конце вегетационного сезона первого года опыта провели отбор почвенных проб для интегральной оценки почвенных агрохимических характеристик.

2.4. Влияние возрастающих доз извести, фосфора и комплексных минеральных удобрений и на рост и минеральное питание саженцев сирени в условиях питомника

Изучение влияния возрастающих доз извести, фосфора и комплексных минеральных удобрений и на рост и минеральное питание саженцев сирени обыкновенной проводили на территории питомника плодовых и декоративных растений в Венёвском районе Тульской области. В опыте использовали 3-хлетние саженцы сорта «Аметист». Почва опытного участка агротёмно-серая.

В первый год полевой мелокоделяночный опыт был заложен по двухфакторной схеме (табл. 1), включавшей в себя 3 блока вариантов с возрастающей дозой извести: без известкования и с известкованием по полной и троекратной гидролитической кислотности. Внутри каждого

блока выделено по три варианта: без внесения удобрений, с внесением азофоски, не содержащей микроэлементов, и вариант с внесением комплексного минерального удобрения марки «Акварин 5», содержащий магний, серу и микроэлементы. Соотношение NPK в азофоске и «Акварине» было выровненным. Удобрения вносили в растворённой форме в начале вегетации в дозах по 30 г д.в. на м². Отбор почвенных проб проводили до закладки опыта и к концу вегетационного сезона – в августе. В середине июля проводили отбор листьев и замер биометрических показателей.

Таблица 1. Схема опыта по изучению влияния возрастающих доз извести, фосфора и минеральных удобрений на рост и обеспеченность растений сирени элементами питания.

Доза извести	Удобрение	Соотношение NPK	Доза удобрения, кг д.в./га	Удобрение	Соотношение NPK	Доза удобрения, кг д.в./га
Внесено в 2017 году				Внесено в 2018 году		
Без извести	Без удобрений		0	Без удобрений		0
	Азофоска	1:1:1	300	Азофоска	1:1:1	300
	Акварин 5	1:1:1	300	Азофоска + двойной суперфосфат	1:3:1	300(NK) + 600(P)
1 г.к.*	Без удобрений		0	Без удобрений		0
	Азофоска	1:1:1	300	Азофоска	1:1:1	300
	Акварин 5	1:1:1	300	Азофоска + двойной суперфосфат	1:3:1	300(NK) + 600(P)
3 г.к.*	Без удобрений		0	Без удобрений		0
	Азофоска	1:1:1	300	Азофоска	1:1:1	300
	Акварин 5	1:1:1	300	Азофоска + двойной суперфосфат	1:3:1	300(NK) + 600(P)

* г.к. – гидролитическая кислотность

Во второй год полевого опыта известкование повторно не проводили. На имеющихся известковых фонах выделили по три варианта: без внесения удобрений, с внесением азофоски с выровненным соотношением NPK и с внесением азофоски, доведённой до соотношения NPK 1:3:1 добавлением двойного суперфосфата. Удобрения внесли в начале вегетации в растворённой форме в дозах по 30 г д.в. на м² рассчитанных по азоту. Отбор почвенных проб проводили перед внесением удобрений и к концу вегетационного сезона – в августе. В середине июля проводили отбор листьев для

элементного анализа. В начале августа проводили отбор листьев для определения содержания хлорофилла, замер биометрических показателей и учёт степени поражения листовых пластин фитопатогеном.

Учёт заболеваемости проводили методом стандартной диаграммы (Татг, 1972). Для этого на каждом растении осматривали по 50 листовых пластин случайным образом. Степень поражения каждой листовой пластины оценивалась визуально по четырёхбалльной шкале. Общая степень поражённости листы оценивалась как средний бал.

ГЛАВА 3. МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ СТАРОВОЗРАСТНЫХ РАСТЕНИЙ СИРЕНИ НА ЗАФОСФАЧЕННЫХ ПОЧВАХ С НЕЙТРАЛЬНОЙ РЕАКЦИЕЙ СРЕДЫ¹

3.1. Анализ причин дефицита элементов питания у растений сирени на зафосфаченных почвах с нейтральной реакцией среды в городских условиях

В основной коллекции сирени Ботанического сада, после известкования почв приствольного круга, и в посадках сирени парковой территории МГУ на листьях наблюдались обширные неинфекционные поражения. В неколекционных посадках Ботанического сада, а также у сирени на территории парка «Сиреневый сад» листва была практически здорова. Почвы приствольного круга на участках, где у сирени наблюдалось поражение листы хлорозом, характеризовались близкими к нейтральным и нейтральными значениями рН, а также были сильно зафосфачены (содержание подвижного фосфора варьировалось в среднем от 300 до 700 мг/кг), в отличие от почв других участков, которые характеризовались слабокислой реакцией среды и значительно меньшим содержанием

¹ В данной главе обсуждаются результаты диссертационной работы автора, опубликованные в статьях:

1. **Боровик Р. А.**, Большева Т. Н. Дефицит микроэлементов у растений сирени (*Syringa vulgaris* L.) при неконтролируемом применении удобрений и извести // Проблемы агрохимии и экологии. — 2015. — № 3. — С. 39–44. ИФ₂ РИНЦ – 0,386 (2015).
2. **Боровик Р. А.**, Большева Т. Н. Использование foliarных подкормок при выращивании декоративных деревьев и кустарников // Проблемы агрохимии и экологии. — 2017. — № 3. — С. 45–55. ИФ₂ РИНЦ – 0,360 (2017).

подвижного фосфора (содержание подвижного фосфора в почве не превышало 200 мг/кг).

После проведённого химического анализа листьев было обнаружено, что у растений, поражённых хлорозом, содержание марганца и магния достоверно ниже по сравнению со здоровыми растениями (рис. 1, 2). Также, у растений, поражённых хлорозом, отмечалось незначительное снижение содержание железа. Содержание марганца в поражённых листьях составляло менее 25 мг/кг, а содержание магния менее 0,15%. Обзор научной литературы не позволил установить оптимальное содержание этих элементов в листьях сирени, однако такие значения являются критически низкими

для многих других видов цветковых растений.

На участках с зафосфаченными почвами с нейтральной реакцией среды наблюдалось меньшее содержание подвижных форм марганца в почве (10-25 мг/кг), по сравнению с почвами контрольных участков (25-45 мг/кг). Вероятно, это снижение связано с образованием малорастворимых соединений на фоне снижения кислотности почвенной среды (Минеев, Сычёв, Гамзиков, 2017). Так, в почвах основной коллекции ботанического сада отмечается достоверная обратная корреляция между содержанием подвижных форм марганца и рН водной вытяжки ($r = -0,86$).

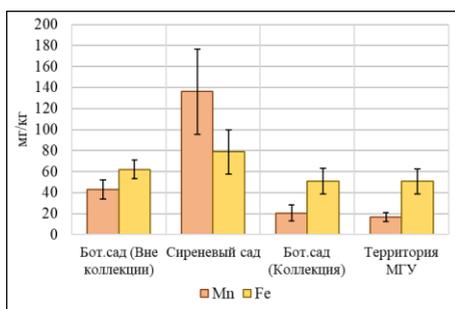


Рис. 1. Содержание марганца и железа в листьях сирени (среднее \pm ст. отклонение)

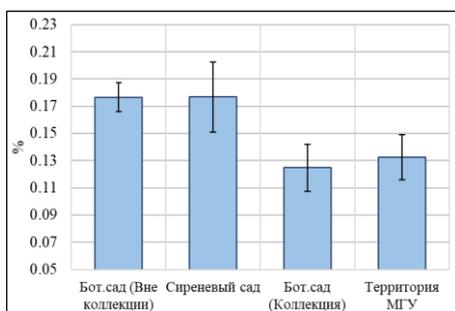


Рис. 2. Содержание магния в листьях сирени (среднее \pm ст. отклонение)

Почвы всех изученных участков характеризовались приблизительно равным содержанием обменных форм магния, в среднем 30-50 ммоль-экв./100г. Однако, на зафосфаченных почвах с

нейтральной реакцией среды было отмечено большее соотношение обменных форм кальция к магнию по сравнению с другими участками, что может являться причиной снижения поступления магния корням растений в результате конкуренции этих ионов при поглощении (Loide, 2004; Sanik et al., 1952).

3.2. Эффективность некорневых подкормок при коррекции дефицита элементов питания у сирени



Рис. 3. Хлороз, возникший после обработки растений хелатом железа.

Изучение эффективности некорневых подкормок сирени при устранении дефицита элементов питания, возникшего на зафосфаченных почвах с нейтральной реакцией среды, показало, что однократная обработка растений растворами, содержащим хелат железа в концентрации 4 г/л, провоцирует развитие хлороза, визуально соответствующего симптомам дефицита марганца (рис. 3). Хлорозы развились в течение двух-трёх недель. Содержание железа в листьях значительно повышалось с 40-

70 мг/кг в контроле до 60-90 мг/кг на фоне обработки хелатом железа, а содержание марганца оставалось на критически низком уровне (<25 мг/кг). Одним из факторов, контролирующих ассимиляцию марганца клетками растений, является его антагонизм с железом (Кабата-Пендиас, 1989; Школьник, 1974). У растений, обработанных растворами, содержащими хелат железа, соотношение железа к марганцу сдвинулось в большую сторону, по сравнению с контрольными растениями и растениями, обработанными только сульфатом марганца. Следует отметить, что однократная обработка растений раствором сульфата марганца в концентрации 1 г/л не оказала выраженного положительного эффекта на растения – содержание марганца в листьях не повысилось, а хлорозы не исчезли.

Множественная обработка растений раствором сульфатом марганца оказала положительный эффект – листья обработанных растений

оставалась здоровой на протяжении всего вегетационного сезона. Содержание марганца в листьях (рис. 4) значительно повысилось после

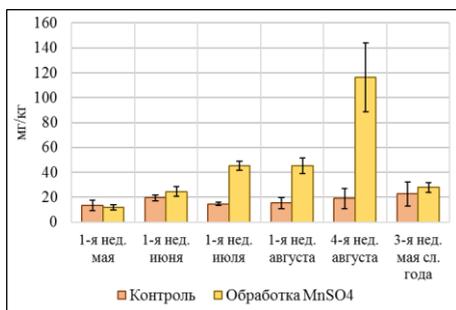


Рис. 4. Динамика содержания марганца в листьях сирени на фоне многократной подкормки раствором сульфата марганца (среднее \pm ст. отклонение).

увеличение содержания железа в листьях с 40-50 мг/кг до 60-90 мг/кг, в результате чего у контрольных растений значительно выросло

Таблица 2. Содержание цинка в листьях после проведения однократной некорневой подкормки сирени сульфатом марганца и хелатом железа (среднее \pm ст. отклонение).

Вариант	Zn, мг/кг
Без обработки	67,7 \pm 20,5
MnSO ₄ 1 г/л	57,0 \pm 18,5
Хелат Fe 4 г/л	37,1 \pm 10,3
MnSO ₄ 1 г/л + Хелат Fe 4 г/л	44,7 \pm 8,9

0,11%. Возможно, из-за того, что магний обладает высокой мобильностью во флоэме, достаточно быстро перераспределяется в другие органы и не аккумулируется в листьях в отличие от марганца (Marschner, 2011).

В ходе изучения некорневых подкормок сирени, помимо антагонизма железа и марганца также было показано наличие взаимодействий между другими элементами питания по типу антагонизма и синергизма. После обработки растений сирени раствором хелата железа наблюдалось снижение содержания цинка в

второй обработки (с 10-25 до 40-50 мг/кг) по сравнению с контрольными растениями, у которых содержание этого элемента находилось на критически низком уровне в течение всего вегетационного сезона, а к середине июля начали проявляться хлорозы, визуальное соответствующие дефициту марганца. В течение лета у всех растений отмечалось постепенное соотношение железа к марганцу по отношению к контролю.

Обработка растений раствором сульфата магния не позволила добиться увеличения его концентрации в листьях. В течение сезона содержание этого элемента в листьях составляло 0,04-

листьях (табл. 2). Между содержанием железа и цинка в листьях наблюдалась достоверная обратная корреляция ($r = -0,32$).

На фоне многократной обработки растений сирени раствором сульфата марганца, отмечалось достоверное более интенсивное снижение содержания цинка и меди в течение вегетационного периода по сравнению с необработанными растениями. При многократной обработке растений раствором сульфата магния содержание цинка в листьях сирени снижалось менее интенсивно в течение всего вегетационного сезона по сравнению с необработанными растениями (табл. 3).

Таблица 3. Динамика содержания цинка и меди в листьях на фоне проведения некорневой подкормки сирени сульфатом марганца и сульфатом магния. Сравнение средних с использованием t-теста.

	1-я неделя мая	1-я неделя июня	1-я неделя июля	1-я неделя августа	4-я неделя августа	3-я неделя мая сл. года
<i>Среднее содержание цинка, мг/кг</i>						
Контроль	76,4	67,2	58,4	53,8	53,3	63,7
Обработка MnSO ₄	67,4	54,8	49,2	40,4	36,5	78,4
t	0,8	2,8	4,1	9,4	7,3	1,4
p	0,49	0,11	0,05	0,01	0,02	0,29
<i>Среднее содержание меди, мг/кг</i>						
Контроль	8,2	8,3	7,8	7,6	7,1	5,6
Обработка MnSO ₄	6,7	5,8	4,4	3,6	3,1	5,4
t	1,5	2,4	6,9	19,6	13,0	1,1
p	0,27	0,14	0,02	0,00	0,01	0,38
<i>Среднее содержание цинка, мг/кг</i>						
Контроль	68,4	56,3	49,6	46,7	49,9	71,5
Обработка MgSO ₄	63,8	72,4	69,8	70,0	71,7	72,1
t	0,6	2,7	2,8	7,7	11,4	0,04
p	0,61	0,12	0,10	0,02	0,01	0,97

ГЛАВА 4. РОСТ И МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ САЖЕНЦЕВ СИРЕНИ В УСЛОВИЯХ ПИТОМНИКА НА ФОНЕ ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ ИЗВЕСТИ, ФОСФОРА И ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ²

4.1. Изменения агрохимических показателей и плодородия агротёмно-серых почв при внесении возрастающих доз доломитовой муки, фосфора и минеральных удобрений

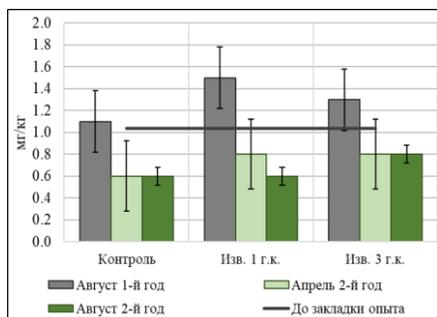


Рис. 5. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на содержание подвижного цинка в почве (среднее \pm ошибка среднего).

подвижных форм фосфора от повышенного и высокого до среднего уровня, согласно классификации ЦИНАО (Методические указания..., 2003).

Известкование не повлияло на обеспеченность почв цинком (рис. 5). Подвижные формы меди не извлекались вытяжкой ацетат-аммонийного буфера, а содержание кислоторастворимых форм меди в почве не изменялось на фоне увеличения дозы доломитовой муки и составляло 3,0-4,5 мг/кг в первый год опыта и 1,0-2,5 мг/кг во второй год. Динамика обеспеченности почв марганцем на фоне внесения возрастающих доз извести отличалась в первый и второй год опыта – в первый год на фоне возрастания доз извести содержание подвижных

² В данной главе обсуждаются результаты диссертационной работы автора, опубликованные в статье:

1. **Боровик Р. А.**, Большеева Т. Н. Влияние доломитовой муки и минеральных удобрений на рост и развитие саженцев сирени обыкновенной // Агрохимический вестник. — 2019. — № 6. — С. 47–52. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10090; ИФ₂ РИНЦ – 0,484 (2019).

форм марганца в почве и марганца в растениях возрастало, а на следующий год наоборот снижалось (рис. 6).

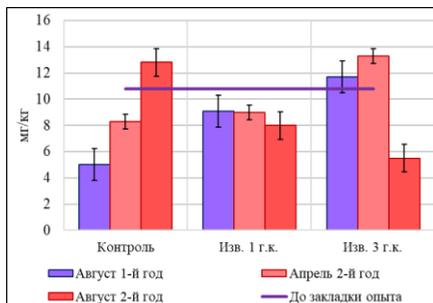


Рис. 6. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на содержание подвижного марганца в почве (среднее \pm ошибка среднего).

суперфосфата. На вариантах без известкования содержание подвижного фосфора в почве было одинаковым на фоне обоих удобрений и составляло 160-230 мг/кг.

4.2. Динамика содержания макроэлементов в листьях сирени и фотосинтетической активности на фоне применения возрастающих доз доломитовой муки, фосфора и минеральных удобрений

У растений сирени на фоне внесения доломитовой муки в дозе, рассчитанной по троекратной гидролитической кислотности, отмечалось снижение содержания азота и суммы хлорофиллов а и b в листьях (рис. 7). Снижение содержания хлорофилла привело к видимому пожелтению листы растений на вариантах с высокой дозой извести.

У саженцев сирени на фоне применения азофоски, доведённой до соотношения NPK 1:3:1 двойным суперфосфатом, наблюдалось снижение содержания азота и хлорофилла в листьях по сравнению с вариантами, на которых применялась азофоска с выровненным соотношением NPK (рис. 8). Снижение содержания хлорофилла привело к видимому пожелтению листовых пластин у саженцев сирени во второй половине вегетационного сезона, что ухудшило декоративную ценность посадочного материала.

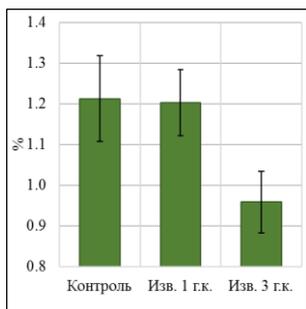


Рис. 7. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на содержание азота в листьях сирени (среднее \pm ст. отклонение).

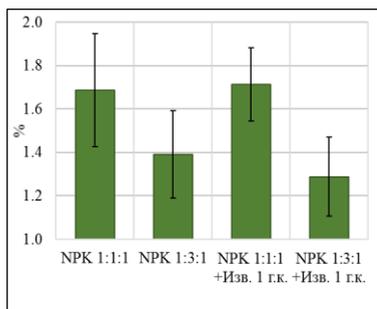


Рис. 8. Влияние применения минеральных удобрений с высоким содержанием фосфора на содержание азота в листьях (среднее \pm ст. отклонение).

На переизвесткованных фонах с ростом количества внесённого в почву фосфора содержание этого элемента в листьях сирени оставалось постоянным и составляло 0,35-0,40%. Это не согласуется с данными почвенной диагностики, в которой была показана восходящая динамика подвижного фосфора в почве на фоне внесения удобрений. Аналогичная картина наблюдалась в Ботаническом саду МГУ, где почвы под посадками сирени в основной коллекции значительно отличались более высоким содержанием подвижного фосфора от почв под неколлеционными посадками, однако содержание этого элемента в листьях было одинаковым на обоих участках.

Применение комплексных минеральных удобрений оказало положительное влияние на азотное питание сирени на переизвесткованных фонах. Содержание азота в листьях на вариантах с высокой дозой извести после внесения удобрений было сопоставимо с таковым на вариантах без известкования. Содержание хлорофилла в листьях на варианте с высокой дозой извести и применением минеральных удобрений было ниже, чем на варианте без известкования и с применением минеральных удобрений, но выше, чем в контроле (табл. 4).

Таблица 4. Влияние внесения азофоски на рост и азотное питание саженцев сирени на фоне внесения высоких доз извести.

	Варианты				НСР _{0,05}
	Без удобрений	Азофоска	Без удобрений	Азофоска	
	Без извести	Без извести	Известь 3 г.к.	Известь 3 г.к.	
В-с. масса 100 листьев, г	21,2	27,4	18,2	25,0	3,8
Содержание азота в листьях, %	1,2	1,7	1,0	1,6	0,19
Содержание хлорофиллов а и b, мг/г	3,6	4,9	2,1	3,5	1,0

4.3. Динамика содержания микроэлементов в листьях сирени на фоне применения возрастающих доз доломитовой муки, фосфора и минеральных удобрений

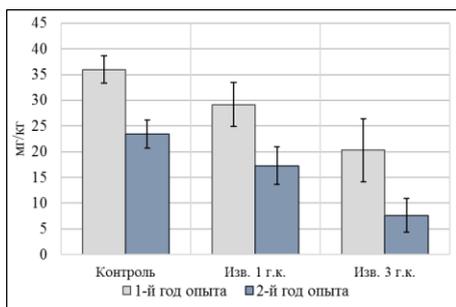


Рис. 9. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на содержание цинка в листьях сирени (среднее \pm ст. отклонение).

Повышение дозы доломитовой муки привело к снижению содержания цинка и меди в листьях в первый и во второй год эксперимента (рис. 9). Содержание меди на фоне самой высокой дозы доломитовой муки опускалось до критически низких значений (менее 1 мг/кг). Агрохимический анализ почв показал, что динамика содержания подвижных форм

цинка не согласуется с содержанием этого элемента в растениях, что свидетельствует о неэффективности почвенной диагностики в отношении оценки обеспеченности сирени цинком и медью.

Сравнение двух видов комплексных минеральных удобрений – азофоски без добавления микроэлементов и удобрения марки «Акварин 5», содержащего серу, магний и микроэлементы, показало, что эффективность последнего не выше, чем у азофоски. Применение «Акварина» не повысило обеспеченность растений основными микроэлементами (рис. 10).

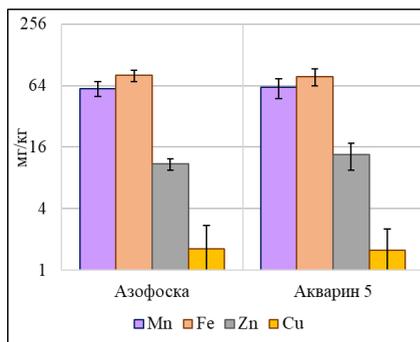


Рис. 10. Сравнение влияния азофоски и «Акварина 5» на обеспеченность сирени микроэлементами на известкованных фонах (среднее ± ст. отклонение).

В почвах питомника содержание подвижных форм марганца соответствовало средней и низкой обеспеченности согласно градациям ЦИНАО, но при этом содержание марганца в листьях не являлось дефицитным и значительно превышало таковое в листьях старовозрастных растений в основной коллекции Ботанического сада МГУ. Обеспеченность почв марганцем под этими посадками характеризовалась

как средняя, но его содержание в листьях было критически низким. Таким образом, почвенная диагностика не эффективна при оценке обеспеченности сирени марганцем (рис. 11).

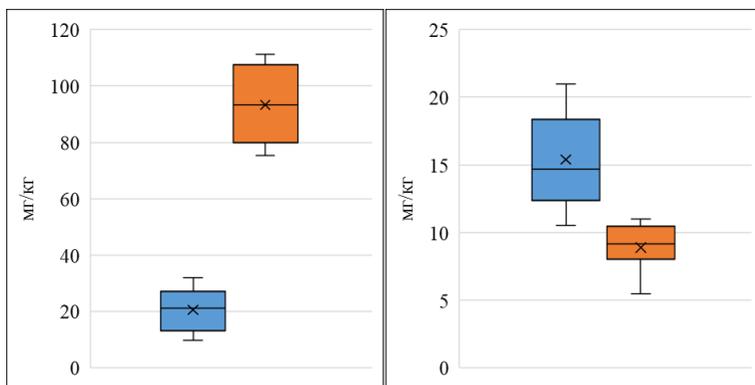


Рис. 11. Сравнение содержания марганца в растениях (слева) и подвижного марганца в почвах (справа) основной коллекции Ботанического сада МГУ (■) и питомника (■).

4.4. Влияние возрастающих доз доломитовой муки, фосфора и минеральных удобрений на биометрические показатели и толерантность к фитопатогенам

Ухудшение питания растений сирени азотом и микроэлементами возникшее на фоне применения высоких доз доломитовой муки отразилось на биометрических показателях – снизилась воздушно-сухая масса листовых пластин, уменьшился прирост побегов текущего года по сравнению с контролем (табл. 5). На переизвесткованных фонах достоверно снизилось количество листьев на побегах текущего года и увеличилось число листьев на дециметр побега, что свидетельствует о замедлении интеркалярного роста.

Таблица 5. Влияние возрастающих доз извести на биометрические показатели саженцев сирени в отсутствие применения минеральных удобрений (среднее по варианту)

	Варианты			НСР _{0,05}
	Контроль	Известь 1 г.к.	Известь 3 г.к.	
В-с. масса 100 листьев, г	21,2	22,1	18,2	3,8
Прирост побегов текущего года, см	19,7	19,4	14,6	3,5
Среднее кол-во листьев на побегах текущего года	12,6	12,2	10,9	1,8
Количество листьев на дм побега	6,3	6,6	7,9	0,95

На фоне ухудшения питания азотом возникшего из-за внесения удобрения с высоким содержанием фосфора снизились биометрические показатели саженцев сирени. Так на вариантах с применением азофоски с добавлением двойного суперфосфата достоверно уменьшилась воздушно-сухая масса листьев, а также незначительно снизился прирост побегов текущего года и возросло количество листьев на дециметр побега по сравнению с вариантами, где применялась азофоска с выровненным соотношением NPK (табл. б). Снижение ростовых показателей могло быть связано со снижением соотношения N:P в начальный период вегетации после внесения удобрений. Это соотношение в листьях многих видов растений является устойчивым и его нарушение ухудшает рост вегетативных органов (Güsewell, 2004; Kiwa 1996).

Применение минеральных удобрений на переизвесткованных фонах улучшило биометрические показатели саженцев сирени за счёт улучшения азотного питания.

Во второй год опыта на листьях саженцев сирени возникли поражения грибковым фитопатогеном. Проведённый учёт заболеваемости показал, что известкование в дозе по полной и троекратной гидролитической кислотности снизило толерантность саженцев к фитопатогену, в результате чего возрасла площадь поражения листовых пластин (рис. 12).

Таблица 6. Влияние внесения минеральных удобрений с высоким содержанием фосфора на биометрические показатели саженцев сирени.

	Варианты				НСР _{0,05}
	NPK 1:1:1	NPK 1:3:1	NPK 1:1:1	NPK 1:3:1	
	Без извести	Без извести	Известь 1 г.к.	Известь 1 г.к.	
В-с. масса 100 листьев, г	27,4	22,2	27,3	21,8	3,8
Прирост побегов текущего года, см	21,9	20,1	22,0	17,0	3,5
Количество листьев на дм побега	6,3	7,0	6,5	7,5	0,95

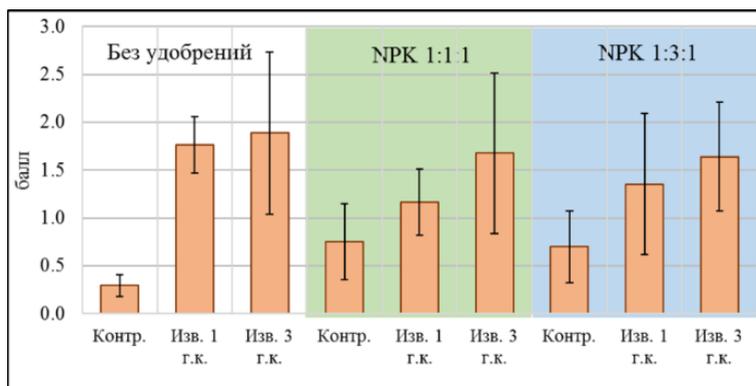


Рис. 12. Степень поражения листовых пластин грибковой инфекцией (среднее ± ст. отклонение)

ВЫВОДЫ

1. У старовозрастных растений сирени обыкновенной, произрастающих в городских условиях на почвах с нейтральной реакцией среды и высоким содержанием фосфора (содержание подвижных форм в вытяжке по Кирсанову превышает 250 мг/кг), возникли обширные хлорозы листовых пластин, которые значительно снизили декоративную ценность насаждений. Хлорозы возникли при содержании марганца в листьях менее 25 мг/кг и магния менее 0,15%. У сирени на незафосфаченных почвах со слабокислой реакцией среды дефицита этих элементов не возникало, и хлорозы не появлялись. Вероятной причиной снижения поступления марганца в растения на переизвесткованных и зафосфаченных почвах являлось снижение содержания подвижных форм марганца. Снижение доступности корням магния вероятно было связано с конкуренцией этого катиона с кальцием при поглощении корнями.

2. У старовозрастных растений сирени, произрастающих в городских условиях на зафосфаченных почвах с нейтральной реакцией среды, многократная некорневая подкормка сульфатом марганца в концентрации 1,5 г/л позволила устранить симптомы дефицита марганца и предотвратить развитие хлорозов. Содержание марганца в листьях после второй подкормки достоверно увеличилось и достигло уровня, как у здоровых растений. Многократная некорневая подкормка сирени раствором сульфата магния в концентрации 2 г/л оказалось неэффективной при устранении магниевых хлорозов, возникших у старовозрастных растений сирени в городских условиях на зафосфаченных почвах с нейтральной реакцией среды. Содержание магния в листьях достоверно не повысилось по сравнению с контролем на фоне 4 последовательных подкормок с интервалом в 1 месяц, и степень развития хлорозов не снизилась.

Перед проведением некорневых подкормок необходимо учитывать обеспеченность растений сирени всеми элементами питания, поскольку их взаимодействие между собой может усугубить имеющийся скрытый дефицит. Так однократная обработка сирени хелатом железа в концентрации 4 г/л спровоцировала развитие марганцевого хлороза на листьях из-за антагонизма железа и марганца

при низком содержании марганца в листьях. На фоне многократных подкормок сирени растворами удобрений, содержащими 1,5 г/л сульфата марганца, снижалось содержание цинка и меди в листьях. При многократных обработках растений растворами, содержащими 2 г/л сульфата магния, увеличивалось содержание цинка в листьях.

3. При выращивании саженцев сирени обыкновенной в условиях питомника внесение доломитовой муки в дозе, перекрывающей полную гидролитическую кислотность, привело к снижению биометрических показателей – уменьшению веса листьев, прироста и количества листьев на побегах текущего года, а также ухудшило азотное питание – достоверно снизилось содержание азота и хлорофилла в листьях по сравнению с контролем. На фоне возрастания дозы доломитовой муки снижалось содержание цинка и меди в листьях. При внесении доломитовой муки в дозах равной гидролитической кислотности и выше увеличивалась степень поражённости листьев грибковой инфекцией.

4. Применение азофоски, доведённой двойным суперфосфатом до соотношения NPK 1:3:1, в дозе 300 кг д.в. (по азоту) / га привело к снижению содержания азота и хлорофилла в листьях саженцев сирени в условиях питомника по сравнению с применением азофоски с выровненным соотношением NPK в той же дозе. Ухудшение азотного питания и фотосинтетической активности весной в период активного формирования вегетативной массы привело к снижению биометрических показателей у сирени – уменьшился вес листьев, уменьшился прирост и количество листьев на побегах текущего года. Снижение содержания хлорофилла привело к видимому пожелтению листовой, что ухудшило декоративность и товарную ценность посадочного материала.

5. Внесение в почву азофоски с выровненным соотношением NPK в дозе 300 кг д.в. / га в весенний период позволило устранить негативное влияние извести на азотное питание саженцев сирени в условиях питомника, улучшить биометрические показатели и декоративную ценность по сравнению с неудобренными вариантами. Внесение в почву комплексного минерального удобрения с добавлением микроэлементов, магния и серы марки «Акварин 5» не

повысило обеспеченность почв и растений микроэлементами на всех известковых фонах в условиях питомника. Также применение «Акварина 5», не улучшило биометрические показатели саженцев по сравнению с более дешёвым комплексным минеральным удобрением – азофоской. Эффективность обеих форм удобрений была одинаковой.

6. При оценке обеспеченности растений сирени элементами питания почвенная диагностика оказалась малоэффективной. Общепринятые методы оценки обеспеченности почв фосфором, марганцем, цинком и медью, не отражали реальную обеспеченность сирени этими элементами питания. Для оценки обеспеченности растений сирени и выявления дефицита питательных элементов целесообразно применение листовой диагностики.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах из списков RSCI, Web of Science, Scopus и дополнительного списка Перечня МГУ

1. **Боровик Р. А.**, Большева Т. Н. Влияние доломитовой муки и минеральных удобрений на рост и развитие саженцев сирени обыкновенной // *Агрохимический вестник*. — 2019. — № 6. — С. 47–52. DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10090; ИФ₂ РИНЦ – 0,484 (2019).
2. **Боровик Р. А.**, Большева Т. Н. Использование фолиарных подкормок при выращивании декоративных деревьев и кустарников // *Проблемы агрохимии и экологии*. — 2017. — № 3. — С. 45–55. ИФ₂ РИНЦ – 0,360 (2017).
3. **Боровик Р. А.**, Большева Т. Н. Дефицит микроэлементов у растений сирени (*Syringa vulgaris* L.) при неконтролируемом применении удобрений и известки // *Проблемы агрохимии и экологии*. — 2015. — № 3. — С. 39–44. ИФ₂ РИНЦ – 0,386 (2015).

Некоторые из публикаций в прочих научных изданиях

4. **Боровик Р. А.**, Большева Т. Н., Скворцов Н. Д. Изучение динамики соотношения железа и марганца в листьях растений сирени (*Syringa vulgaris* L.) при многократной фолиарной обработке раствором сульфата марганца // *Агрохимия в XXI веке. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвящённой памяти академика РАН В.Г. Минеева. 27-28 сентября 2018 г. — Москва, 2018. — С. 190–197.*
5. **Боровик Р. А.**, Большева Т. Н. Загрязнение городских почв тяжёлыми металлами озеленённых территорий Московского Государственного университета имени М.В. Ломоносова // *Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность — 2017 Сборник статей по материалам научно-практической конференции с международным участием. Под редакцией Ю.А. Омельчук, Н.В. Ляминой, Г.В. Кучерик. — Севастополь, 2017. — С. 200–203.*