

УДК 57.04

DOI: 10.25688/2076-9091.2023.49.1.2

Мария Валерьевна Аниськина¹,
Иван Владимирович Выродов²,
Аркадий Николаевич Ховрин³

^{1,2,3} Московский городской педагогический университет, Россия, Москва

Реакция *Malus sylvestris* на воздействие антропогенных загрязнителей

Аннотация. В исследовании представлена информация о воздействии антропогенных факторов, в частности отходов промышленных предприятий, придорожной пыли, автодорожных шин, на показатели роста и питания побегов растения *Malus sylvestris*. Выявлено, что отходы резиновых покрышек, древесная зола и придорожная пыль относятся к числу приоритетных загрязнителей. Показано, что при совместном влиянии факторов отмечается эффект синергизма. Дальнейший рост побегов замедляется, фотосинтезирующие органы опадают или наблюдается пятнистость, в отдельных случаях — скручивание. Выявлена аккумуляция побегами растения тяжелого металла — кадмия. Отмечено снижение доли кадмия в зависимости от удаленности от автодороги.

Ключевые слова: антропогенные загрязнители, *Malus sylvestris*, побеги растений, тяжелые металлы, яблоня, Московский регион

UDC 57.04

DOI: 10.25688/2076-9091.2023.49.1.2

Maria Valerievna Aniskina¹,
Ivan Vladimirovich Vyrodov²,
Arkady Nikolaevich Khovrin³

^{1,2,3} Moscow City University, Russia, Moscow

Malus sylvestris response to exposure to anthropogenic pollutants

Abstract. *Malus sylvestris* plant. It was revealed that rubber tire waste, wood ash and roadside dust are among the priority pollutants. It is shown that with the combined influence of factors, there is a synergistic effect. Further growth of shoots slows down, photosynthetic organs fall off or spotting is observed, in some cases — twisting. Accumulation of heavy metal — cadmium by plant shoots was revealed. A decrease in the proportion of cadmium was noted depending on the distance from the highway.

Keywords: anthropogenic pollutants, *Malus sylvestris*, plant shoots, heavy metals, apple trees, Moscow region

Введение

В современном быстроразвивающемся мире растения и животные испытывают постоянное антропогенное давление. Оно проявляется в загрязнении атмосферы, кислотных осадках, истощении почвенных ресурсов, а также в непосредственном влиянии частиц загрязнителей на ткани растений. Сегодня актуальной проблемой является получение экологически безопасной продовольственной продукции. В связи с этим все чаще в городских агломерациях практикуется ведение городского сельского хозяйства — *Urban Farming*.

Очень важно было бы в городских экосистемах отводить часть территорий для высаживания сельскохозяйственных растений и проводить исследование стресс-реакции на рост и развитие их вегетативных и генеративных органов.

В данной работе отмечено влияние антропогенных факторов на плодородное растение *Malus sylvestris* L. (яблоня лесная), которое повсеместно встречается в дикой природе и является хорошим медоносом. Часто она произрастает вдоль железных и автомобильных дорог, где подвергается воздействию мелкодисперсных частиц различных загрязнителей, что сказывается на ее развитии и продуктивности. Поэтому целью данного исследования является изучение реакции побегов яблони лесной на воздействие загрязнителями.

Объект исследования

Яблоня лесная (*Malus sylvestris* L.) — широко распространенное растение из семейства розоцветных, подсемейства яблоневых. Жизненная форма — высокие кустарники и деревья высотой 1,5–5 м. Яблоня лесная имеет плотную крону с бурой корой. Листья имеют яйцевидную форму, могут быть гладкими либо покрытыми волосками. Листорасположение очередное. Цветение происходит в апреле и мае. Розовато-белые душистые цветки собираются в соцветие щиток на укороченных побегах. Чашелистики треугольные, заостренные, снаружи голые, внутри войлочные. Завязь нижняя. Плод — яблоко. Плоды округлые, в диаметре от 1 до 3 см, желтовато-зеленые, иногда розоватые, с пятном красного цвета, горько-кислого и деревянистого вкуса. Семена продолговатые, в свежем виде бурые, так же как и у всех яблонь, содержат слабо ядовитый амигдалин. Плоды созревают в июле – сентябре. *Malus sylvestris* L. — ценное плодородное растение, опыляется насекомыми, естественно размножается семенами, порослью от пня, реже — отводками. [3, с. 223].

Яблоня лесная растет в смешанных и лиственных лесах, по их опушкам, любит заливные луга и пограничные с лесом сырые места. Рассеянно растет в пойменных лесах, в живых изгородях и в кустарнике, на свежей богатой питательными веществами глинистой и каменистой почве. В лесостепной зоне

растет по склонам оврагов и балок, среди кустарниковых зарослей, по берегам рек.

Выбор растения обусловлен широким ареалом распространения, высокой зимостойкостью, засухоустойчивостью, скороплодностью, урожайностью. Эти особенности оптимальны для умеренной полосы. В условиях Московского региона *Malus sylvestris* L. весьма обыкновенно произрастает по паркам, лесам и вдоль автомагистралей. Яблоню лесную чаще всего можно встретить в северной и западной части средней полосы России.

Материал и методы исследований

Исследование проводилось на яблоне лесной (*Malus sylvestris* L.), которая произрастает в национальном парке «Лосиный Остров», а также вдоль Щелковского шоссе на 8-м км от МКАД, вблизи расположения школы № 30 (г. Балашиха, Московская область).

Рассмотрим более подробно экологическую обстановку каждого из районов нашего исследования.

Национальный парк «Лосиный Остров» расположен в подзоне широколиственно-еловых лесов Валдайско-Онежской подпровинции Североевропейской таежной провинции Евразийской таежной области. Там произрастает около 500 видов сосудистых растений, в том числе 32 вида древесных, 37 видов кустарниковых. Лесообразующие породы деревьев — береза, сосна, ель, липа, дуб. Доля остальных пород незначительна. Широко представлены виды травянистых растений, отнесенные к категории редких и подлежащих охране на территории Москвы и Московской области. Это волчегодник обыкновенный, ландыш, купальница европейская, колокольчик персиколистный, колокольчик крапиволистный (*Campanula trachelium*), любка зеленоцветковая (*Platanthera chloranta*), любка двулистная (*Platanthera bifolia*), гнездовка настоящая (*Neottia nidus-avis*) и другие. Здесь находится единственное место в ближнем Подмосковье, где естественно произрастает печеночница благородная.

Так, на пришкольном участке школы № 30 в 2013 году были высажены *Malus sylvestris* L. и *Pyrus communis* Subsp. Школа расположена вблизи Щелковского шоссе, поэтому приоритетные загрязнители, поступающие в район исследования, были выбраны в качестве основных.

Обучающиеся школы охотно включаются в проектные исследовательские работы. Они выполняют разнообразные виды работ на пришкольном участке: уход за деревьями, полив, внесение удобрений, удаление усыхающих побегов, борьба с лишайником.

Балашихинский район относится к лесопарковому защитному поясу Москвы, он расположен к востоку от города в 5 км от МКАД и 25 км от ЦАО Москвы. В районе исследования находятся многочисленные промышленные предприятия,

хотя в последние годы их количество сократилось. Назовем основные: Балашихинский автокрановый завод, Балашихинский опытный химический завод, Балашихинский деревообрабатывающий завод, Балашихинский ЛМЗ, корпорация «Рубин», «Криогенмаш», песчаные карьеры в поселках Восточный, Янтарный. Пересекает район через Щелковское шоссе Мосводоканал (Восточная станция водоподготовки). Отмечается низкая пропускная способность Щелковского шоссе. Щелковское шоссе имеет 4 полосы дороги: 2 — в сторону области, 2 — в Москву. Проводился подсчет количества автомобильного транспорта по Щелковскому шоссе. Пропускная способность в утренние часы с 07:00–08:00 составляет 3000 машин в час, днем эти показатели в среднем составляли 2600, а вечером, в 19:00–20:00 часов — 4000.

По данным энциклопедического пособия «Экология Подмосковья», экологическая обстановка Балашихинского района напряженная. Растительный и животный мир беден. Леса находятся в угнетенном состоянии. При этом численность населения района составляет 1 млн человек. В 2020 году был введен второй путь железнодорожной ветки Балашиха – Москва, участок подвергался частичной вырубке древостоя, в том числе и яблонь. Особую опасность для мигрирующих животных *Sus scrofa*, *Alces alces* представляет забор, расположенный вдоль железнодорожных путей.

В лаборатории кабинета биологии для достоверности результатов проводили эксперимент в четырехкратной повторности. Срезали побеги растения, растущего на территории национального парка «Лосиный Остров» (северная сторона от Щелковского шоссе) и придорожные экземпляры, вблизи расположения школы. Побеги помещались в бутилированную воду марки «Сенежская» и находились при температуре помещения 23 °С и постоянной влажности 46 %, которые поддерживались с помощью термогигрометра фирмы Lovely. Далее полученные побеги яблони стандартизировали по массе взвешиванием на лабораторных весах. Укороченные побеги помещали в стеклянные стаканы объемом 300 мл с дистиллированной водой и изолировали для предотвращения испарения.

Затем проводилось опудривание яблони лесной мелкодисперсными частицами: придорожной пылью, солью, мукой, мелом, древесной золой, металлической стружкой (серый чугун) и крошкой из автомобильных шин. Данные тонкодисперсные агенты широко распространены в крупных городах и загрязняют атмосферный воздух, почву и растения.

Наблюдение за жизненным состоянием побегов велось в течение 10 дней. Ежедневно фиксировались внешние изменения изучаемых образцов в сравнении с контролем. Контрольный образец не подвергался загрязнению [2, с. 55].

Результаты исследования

По наблюдениям, побеги растения, подвергшиеся действию загрязнителей, существенно отличались от контрольных. Установлены внешние изменения побегов, которые характеризуются реакциями растения на опудривание (табл. 1).

Таблица 1

Внешние изменения побегов яблони лесной (*Malus sylvestris* L.)

Вещество	День наблюдения									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Придорожная пыль	–	1	1	1, 2	1, 2	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3, 7
Древесная зола	–	4	4	4	4	4	4	4, 5	4, 5	4, 5, 6
Мука	–	–	1	1, 2	1, 2, 3	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4, 5	1, 2	1, 2, 4	1, 2, 3, 4,
Соль	4	4	4, 5	4, 5, 2	2, 4, 5	2, 4, 5, 6	2, 4, 5, 7	2, 4, 5, 7	2, 4, 5, 7	2, 4, 5, 7
Мел	–	–	–	–	–	1, 5	1, 5, 6	1, 5, 6	1, 5, 6	1, 5, 6
Металлическая стружка	4	2, 5	2, 5	2, 5	1, 2, 5	1, 2, 4, 5, 7	1, 2, 4, 5, 7	1, 2, 4, 5, 7	1, 2, 4, 5, 7	1, 2, 4, 5, 7
Крошка от покрышек	–	–	–	3	3, 7	7	7	7	7	7
Контроль	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1

Примечание: 1 — потеря тургора, 2 — изменение окраски листьев, 3 — потеря цвета листа, 4 — появление некрозов, 5 — засыхание листовой пластинки, 6 — скручивание листовой пластинки, 7 — опадение листьев.

При нанесении на исследуемые растения придорожной пыли уже на 3-й день на листьях обнаружены пятна, впоследствии наблюдалось усыхание и каждый последующий день приводил к некрозу и увеличению некротической поверхности листа. С 4-го дня после опудривания у побегов отмечена потеря тургора. В последующие дни отмечалось изменение окраски листьев.

Опудривание древесной золой на 1-й день наблюдения вызвало появление светлых некротических пятен диаметром 2 мм. На 3-й день опыта наблюдалось побурение отдельных листовых пластин, потеря тургора и частичное засыхание [1, с. 43].

При опудривании солью единичные экземпляры листьев покрылись темными пятнами, произошло засыхание нижнего края листовой пластинки.

При нанесении мела признаков внешнего изменения листовой пластинки не было и только на 8-е сутки фиксировалась потеря тургора, скручивание листа.

Рассеивание металлической стружки вызвало побурение листа, на 7-й день — скручивание листа, на 10-й день — опадение листьев.

Внешние изменения побегов *Malus sylvestris* L. Представлены на диаграмме на рисунке 1.

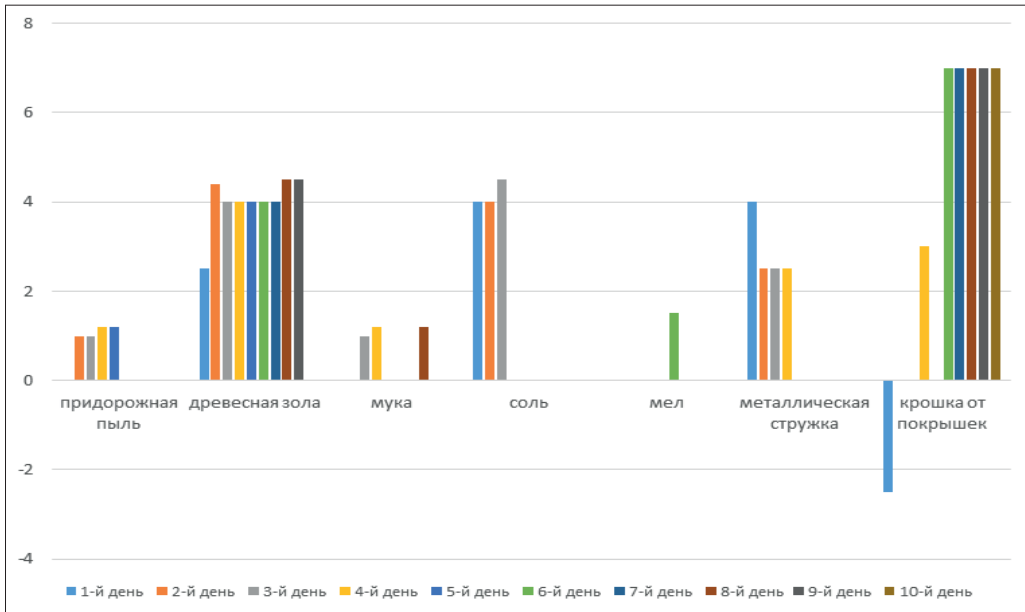


Рис. 1. Внешние изменения побегов *Malus sylvestris* L.

Влияние крошки от автомобильных шин сказалось на морфологии яблони заметнее всего. При этом в первые 3 дня выраженных изменений выявлено не было, на 4-й день наблюдалось обесцвечивание листа, а с 7-го дня — их опадение. Данный фактор весьма опасен, так как при трении автомобильных шин об асфальт выделяется кадмий — тяжелый металл, относящийся к 1-му классу опасности. Для обнаружения присутствия в растении кадмия контрольные и подвергающиеся загрязнению побеги тестировали в лаборатории «МГУЛАБ» методом мокрой минерализации, используя для этого предварительно подготовленные образцы, высушенные 25 часов в сушильном шкафу при 105 °С, а затем в микроволновой печи при заданном давлении и температуре минерализовали побеги смесью азотной кислоты и пероксида водорода, согласно МУК 1992. В таблице 2 приведены средние показатели содержания кадмия в побегах яблони на обоих исследуемых участках.

Таблица 2

Аккумуляция кадмия вегетативными побегами яблони лесной (*Malus sylvestris* L.)

	Кадмий, мг/кг	ПДК
Побеги <i>Malus sylvestris</i> L. вблизи дороги	0,17 ± 0,4	~2
Контрольные побеги	0,03 ± 0,1	
Средние значения	0,185	

Из таблицы 2 видно, что контрольные побеги незначительно аккумулялировали кадмий, что соответствует фоновому их содержанию, и что существенно различаются показатели побегов, подвергавшихся загрязнению. При этом значения показателей не выходят за рамки ПДК, поэтому предварительно можно утверждать, что загрязнение кадмием района исследования незначительное, но оно имеет накопительный эффект. Кадмий накапливается в живых организмах, их цветочных органах, красном костном мозге, печени.

Контрольный опытный образец сохранил природный цвет листьев, на 9-й день отмечалось частичное увядание листьев.

Выводы

1. При опыливание растения различными веществами отмечались значительные визуальные изменения листовой поверхности, которые проявляются в обесцвечивании листьев, завядании, усыхании, побурении и скручивании.

2. Максимальный эффект наблюдался от воздействия металлической стружки, придорожной пыли и пыли автомобильных шин, минимальный эффект — от опудривания мелом.

3. Нашими исследованиями подтверждается, что яблоня лесная сложно адаптирована к пылевому загрязнению, растение может быть выбрано в качестве фиторемедианта.

4. Из воздействующих факторов наибольшим токсическим эффектом отмечается крошка от резиновых покрышек автомобилей, содержащих кадмий.

Список источников

1. Атлас растений-фиторемедиантов / Л. В. Панченко, А. Ю. Муратова, Е. В. Дубровская [и др.]. Саратов: Научная книга, 2015. 559 с., цв. ил.
2. Кислотная минерализация проб сырья и продуктов, кроме растительного масла, маргарина, пищевых жиров. 1992. 12. ВФС 68-86-93.
3. Метаболизм антропогенных токсикантов в высших растениях / Г. И. Квеситадзе [и др.]. Рос. акад. наук, Ин-т биохимии им. А. Н. Баха. М.: Наука, 2005. 198 с.
4. Муравьев А. Г. Экологический практикум: учебное пособие с комплектом карт-инструкций / А. Г. Муравьев, Н. А. Пугал, В. Н. Лаврова; под ред. А. Г. Муравьева. СПб.: Крисмас+, 2003. 176 с.: ил.
5. Экология Подмосковья: Энциклопедическое пособие / Е. В. Брызгалина [и др.]. М.: Современные тетради, 2001. 606 с.

References

1. Atlas of phytoremediant plants / L. V. Panchenko, A. Y. Muratova, E. V. Dubrovskaya [et al.]. Saratov: Scientific Book, 2015. 559 p., color. il.
2. Acid mineralization of samples of raw materials and products, except vegetable oil, margarine, edible fats. 1992. 12. VFS 68-86-93.

3. Metabolism of anthropogenic toxicants in higher plants / G. I. Kvesitadze [et al.]. Russian Academy of Sciences, Institute of Biochemistry named after A. N. Bach: M.: Nauka, 2005. 198 p.
4. Muravyev A. G. Ecological practicum: A textbook with a set of instruction cards / A. G. Muravyev, N. A. Pugal, V. N. Lavrova; Edited by A. G. Muravyev. SPb.: Krismas+, 2003. 176 p.: il.
5. Ecology of the Moscow region: An Encyclopedia manual / E. V. Bryzgalina [et al.]. M.: Sovremennie tetradi, 2001. 606 p.