

Российская академия наук

Учреждения Российской академии наук:

БОТАНИЧЕСКИЙ САД УРО РАН

**ИНСТИТУТ ЛЕСА имени В.Н.Сукачева
СО РАН**

Министерство образования и науки РФ

Государственные образовательные учреждения высшего
профессионального образования:

**УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ имени С.М.Кирова**

БОЛЕЗНИ И ВРЕДИТЕЛИ В ЛЕСАХ РОССИИ: ВЕК XXI

Материалы Всероссийской конференции с международным участием
и V ежегодных чтений памяти О.А.Катаева
Екатеринбург, 20-25 сентября 2011 г.

Красноярск 2011

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ В СИСТЕМЕ “ЛИПА – ЛИПОВАЯ МОЛЬ-ПЕСТРЯНКА” НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ИЖЕВСКА

И.В. ЕРМОЛАЕВ, О.В. СИДОРОВА

ФГУ Национальный парк “Нечкинский”, пос. Новый, Воткинский р-н Удмуртской Республики

АННОТАЦИЯ

Исследованы особенности повреждения липы мелколистной инвазионным видом – *Phyllonorycter issikii* в городских посадках. Показана связь повреждений минера со степенью загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. Особенности взаимоотношений в системе “*Tilia* – *Ph. issikii*” создают благоприятные условия для успешного использования липы в озеленении крупных городов.

Липовая моль-пестрянка *Phyllonorycter issikii* Kumata – инвазионный, экономически значимый вид, оказывающий негативное влияние, как на продуктивность, так и на репродуктивные характеристики дерева-хозяина [7]. Крайне низкая эффективность факторов смертности моли [5] приводит к быстрому росту плотности её популяций. Так, с момента обнаружения первых мин *P. issikii* в насаждениях г. Москвы в 1985 г. [1] до момента образования первых очагов в несколько тысяч га в 1987 г. [3] минеру потребовалось всего три года или шесть поколений. Цель работы: на примере г. Ижевска исследовать особенности повреждения посадок липы мелколистной липовой молью-пестрянкой и выявить возможные механизмы, лежащие в основе этих особенностей.

В течение 1999-2002 гг. в г. Ижевске изучали сезонную динамику повреждения листьев липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) членистоногими-филлофагами [6]. Работу провели на 15 пробных площадях. На каждой площади выбрали по 10 модельных деревьев. Площади № 2, 3, 4, 6, 7, 10, 11 были расположены в центре, площади № 1, 5, 8, 9, 12, 13, 14, 15 – на периферии города. Деревья на пробных площадях № 4, 6, 10, 11, 12, 13, 15 росли непосредственно у полотна (до 10 м), на площадях № 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 14 – на расстоянии до 100 м от автодороги. Поврежденность листьев *Ph. issikii* на постоянной модельной ветви, взятой с северной экспозиции нижнего яруса кроны каждого из 150 модельных деревьев, оценивали ежегодно 30 августа. Ежегодно 30 августа с пробных площадей отбирали почвенные пробы из верхних (до 10 см) горизонтов и определяли следующие агрохимические показатели: обменная кислотность (рН) в растворе KCl – потенциметрически (ГОСТ 26483-85); гидролитическая кислотность (Н, мг-экв/100 г почвы) – потенциметрически, по Каппену (ГОСТ 26212-91); сумма поглощенных оснований (S, мг-экв /100 г почвы) – по Каппену (ГОСТ 27821-88); расчет степени насыщенности основаниями (V, %) по сумме поглощенных оснований и величине гидролитической кислотности; содержание подвижных соединений фосфора и калия (мг/кг) – по Кирсанову (ГОСТ 26207-91); содержание органического вещества – по Тюрину (ГОСТ 26213-91). На всех 15 пробных площадях была дерново-подзолистая, слабооподзоленная, суглинистая почва. В отобранных образцах почвы определяли содержание кислоторастворимых (1н HCl) форм тяжелых металлов – Pb, Cd, Cu, Zn, Mn и Fe, при соотношении почвы и раствора 1 : 10. Содержание в почвах подвижных форм Cu, Zn, Mn и Fe определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре “Спектроскан СА-10 МП”. Содержание подвижных форм Pb и Cd исследовали инверсионно-вольтамперометрическим методом на приборе “ИВА-3А”. Во всех случаях рассчитывали среднеарифметическое значение и его ошибку. Оценку достоверности различий при сравнении выборок осуществляли стандартными методами. При сравнении средние данные, выраженные в процентах, предварительно преобразовывали как $\arcsin \sqrt{x}$.

Ижевск (56°50' с.ш. и 53°10' в.д.) – крупный (333.2 км²) промышленный город с населением (на 1 января 2010 г.) 610 633 чел. По данным на 1999 г. [4], основу валового выброса загрязняющих веществ в атмосферу города создаёт автотранспорт – 60.7 тыс. т или 69.8%. С выхлопами двигателей внутреннего сгорания в атмосферу попадает более двухсот различных веществ [11]. Среди них наиболее токсичны – тяжёлые металлы.

Липа широко используется в озеленении городов РФ. Дерево имеет высокие декоративные качества, обладает морозоустойчивостью и теневыносливостью, выдерживает высокие температуры при недостатке влаги в почве, переносит искусственное формирование кроны, способна поглощать и задерживать разнообразные газы и пыль. Для растения показано увеличение интенсивности поглощения элементов с высокими концентрациями в выбросах локальных источников загрязнений [10]. Результаты нашего исследования показали существование достоверных ($P < 0.05$) положительных корреляций между содержанием тяжелых металлов в почве и листьях липы для цинка, меди, марганца и свинца.

Наше исследование совпало с периодом становления популяций *Ph. issikii* в г. Ижевске. Минер был обнаружен на всех пробных площадях города. Поврежденность листьев липы *Ph. issikii* между площадями значительно варьировала. Например, в 1999 г. разница между минимальными (0.2±0.1) и

максимальными (40.4 ± 8.2) показателями составила более чем 200 раз. В 2000 г. под действием абиотических факторов плотности минера были повсеместно снижены. При этом поврежденность липы не превысила 3.3% (№ 9). На протяжении 2001-2002 гг. поврежденность листьев *Ph. issikii* росла на большинстве площадей и достигла 70 (№ 5) и даже 90% (№ 1).

Распределение *Ph. issikii* в г. Ижевске зависит от расстояний до источников загрязнения. Так, деревья, расположенные на расстоянии до 100 м от полотна автодороги имели достоверно ($P < 0.05$) большие повреждения минером, чем деревья близ неё (до 10 м). Поврежденность лип на периферии города была достоверно выше, чем в центре.

Поврежденность липы мелколистной *Ph. issikii* была связана с содержанием тяжелых металлов, как в листьях деревьев (табл. 1), так и в почве (табл. 2) пробных площадей. При этом корреляции с содержанием цинка, меди, железа и свинца были достоверно отрицательные, а содержанием марганца – достоверно положительные. Последний факт связан с двумя особенностями металла. Во-первых, с повышением значений pH почвы количество растворимых форм марганца снижается [17]. Мы получили тот же результат: для 1999 ($r = -0.61$, $n = 15$, $P < 0.01$), для 2000 ($r = -0.77$, $n = 15$, $P < 0.001$), для 2001 ($r = -0.71$, $n = 15$, $P < 0.001$), для 2002 ($r = -0.61$, $n = 15$, $P < 0.01$). Выщелачивание почв в центральной части города приводит к достоверному снижению подвижных форм металла. Во-вторых, марганец – биофильный элемент, участвующий в росте, фотосинтезе, дыхании, азотном и углеводном обмене растений [12]. Ежегодный вывоз осенних листьев из города на мусорные свалки также сокращает содержание металла в почвах. Активность минера имела достоверную положительную связь с содержанием кадмия в листьях и почве только в 2001 г. В связи с крайне низкими плотностями моли в 2000 г. показана связь поврежденности липы с изменением содержания марганца.

Таблица 1. Значения коэффициентов корреляции между поврежденностью листьев липы минами *Ph. issikii* (%) и содержанием тяжелых металлов в листьях (мг/кг)

Металл	1999	2000	2001	2002
Цинк	- 0.40*** (131)	- 0.03 (150)	- 0.27*** (150)	- 0.67*** (118)
Медь	- 0.39*** (131)	0.02 (150)	- 0.47*** (150)	- 0.56*** (118)
Марганец	0.59*** (131)	0.25*** (150)	0.46*** (150)	0.39*** (118)
Железо	- 0.34*** (131)	0.02 (150)	- 0.44*** (150)	- 0.62*** (118)
Свинец	- 0.25** (131)	- 0.03 (150)	- 0.31*** (150)	- 0.54*** (118)
Кадмий	- 0.04 (131)	0.14 (150)	0.42*** (150)	0.03 (118)

Корреляции достоверны при * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$. В скобках – количество исследованных деревьев.

Таблица 2. Значения коэффициентов корреляции между поврежденностью листьев липы минами *Ph. issikii* (%) и содержанием тяжелых металлов (мг/кг) в почве пробной площади

Металл	1999	2000	2001	2002
Цинк	- 0.30*** (131)	- 0.03 (150)	- 0.41*** (150)	- 0.65*** (118)
Медь	- 0.44*** (131)	0.01 (150)	- 0.57*** (150)	- 0.72*** (118)
Марганец	0.67*** (131)	0.25*** (150)	0.62*** (150)	0.56*** (118)
Железо	- 0.13 (131)	0.04 (150)	- 0.30*** (150)	- 0.22** (118)
Свинец	- 0.39*** (131)	0.03 (150)	- 0.51*** (150)	- 0.43*** (118)
Кадмий	0.12 (131)	0.11 (150)	0.20** (150)	- 0.06 (118)

Корреляции достоверны при * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$. В скобках – количество исследованных деревьев.

Численные реакции насекомых-фитофагов на антропогенные воздействия можно разделить на четыре типа [8, 13]: адаптивный, неадаптивный, квазиадаптивный, индифферентный. Реализация каждого типа может быть связана со спецификой взаимодействия фитофага с представителями первого и третьего трофических уровней.

Гипотеза регулирующего влияния энтомофагов на популяции *P. issikii* при усилении степени загрязнения бесперспективна. Наше пятилетнее исследование показало неэффективность энтомофагов моли даже на трёх экологически благополучных пробных площадях, расположенных на окраине г. Ижевска [5]. Выживаемость куколок первой генерации минера варьировала для пробной площади № 1 от 61.5 (2001 г.) до 79.6% (2005 г.), для площади № 2 – от 53.2 (2001 г.) до 81.7% (2004 г.), для площади № 3 – от 63.9 (2001 г.) до 76.9% (2004 г.). Выявленные 23 вида паразитоида были полифагами, перешедших на питание липовой молью-пестрянкой с других видов семейства.

На наш взгляд, неадаптивный вариант реализации численной реакции *P. issikii* определен изменением состояния дерева-хозяина. На примере г. Москвы показано уменьшение размеров листьев липы мелколистной, произрастающих вдоль улиц по сравнению с деревьями из городского парка [9]. Липа мелколистная в уличных посадках г. С.-Петербурга по сравнению с посадками в пригородном парке имеет более изреженную крону, увеличенную долю световых листьев, более мелкие и толстые листья [15, 16]. При этом число устьиц в см^2 поверхности листа становится больше в 1.5-2 раза, сами устьица – мельче. Число хлоропластов в клетках и в см^2 листа не уменьшается. Однако двукратное

снижение размеров единичных хлоропластов вызывает пропорциональное сокращение суммарной поверхности хлоропластов в см² листа. Для липы в уличных посадках характерна (в 2-3 раза) меньшая обеспеченность единицы площади листа хлорофиллами по сравнению с пригородным парком. Причем в условиях города практически исчезает разница в содержании хлорофилла в световых и теневых листьях. Интенсивность фотосинтеза в расчете на см², на хлоропласт и на единицу хлорофилла резко снижена: у теневых листьев в 2, у световых – в 5-6 раз [15]. Плотность жилкования листьев липы в уличных посадках в 1.5 раза выше, чем в лесу [16]. При токсическом уровне содержания тяжелых металлов в липе происходит подавление синтеза белковых соединений и усиление гидролитических процессов, связанных с накоплением небелковых азотистых соединений [14]. Крайним проявлением экотоксикологических эффектов у липы является хлороз и некроз листовой пластинки, обнаруженный нами на некоторых деревьях в центре г. Ижевска.

Концентрация тяжелых металлов увеличивается в ряду: кормовое растение – личинка фитофага – имаго фитофага. Повышение содержания тяжелых металлов в листьях липы вызывает проявление зависимости “доза (уровень токсиканта в организме) – эффект (показатели популяционного уровня)” [2] в популяциях *P. issikii*. В результате повышения загрязненности окружающей среды численность минера достоверно снижается.

Таким образом, липовая моль-пестрянка встречается во всех вариантах городских насаждений липы. Поврежденность дерева минёром отрицательно и достоверно связана со степенью загрязненности окружающей среды рядом тяжелых металлов (цинк, медь, железо, свинец). Особенности взаимоотношений в системе “*Tilia* – *Ph. issikii*” создают благоприятные условия для успешного использования липы в озеленении крупных городов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беднова О.В., Белов Д.А. Липовая моль-пестрянка (Lepidoptera, Gracillariidae) в зеленых насаждениях Москвы и Подмосковья. Лесной вестник, 1999, № 2. С. 172-177.
2. Безель В.С. Экологическая токсикология: популяционный и биоценотический аспекты. Екатеринбург: Изд-во “Тошницкий”, 2006. 280 с.
3. Белов Д.А. Вспышки массового размножения листогрызущих насекомых и минеров и характеристика их очагов в Москве. Лесной вестник, 2000, № 6. С. 124-131.
4. Государственный доклад “О состоянии окружающей природной среды Удмуртской Республики в 1999 году”. Информационное издание. Ижевск: Ижевский государственный технический университет, 2000. 228 с.
5. Ермолаев И.В., Ефремова З.А., Ижболдина Н.В. Паразитоиды как фактор смертности липовой моли-пестрянки (*Phyllonorycter issikii*, Lepidoptera, Gracillariidae). Зоологический журнал, 2011, Том 90. № 1. С. 24-32.
6. Ермолаев И.В., Сидорова О.В. Сезонная динамика повреждения липы мелколистной комплексом членистоногих-филлофагов. Зоологический журнал, 2011, Том 90. № 5. (в печати)
7. Ермолаев И.В., Зорин Д.А. Экологические последствия инвазии *Phyllonorycter issikii* Kumata (Lepidoptera, Gracillariidae). Зоологический журнал, 2011, Том 90. № 6. (в печати)
8. Козлов М.В. Ответные реакции популяций насекомых на антропогенные воздействия. Материалы по проекту № 2 Советской национальной программы “Человек и биосфера” (МАБ). Препринт. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1987. 60 с.
9. Лобова О.В. Изменения вегетативных органов липы мелколистной в условиях города. Лесной вестник, 1999, № 2. С. 80-81.
10. Москаленко Н.Н., Смирнова Р.С. О биологическом поглощении химических элементов в городах. Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Труды пятого Всесоюзного совещания. Обнинск, 12-15 января, 1987. Л., 1989. С. 212-217.
11. Никифорова Е.М. Источники и вещественный состав техногенных потоков, возникающих в связи с работой автотранспорта. Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состоянии экосистем. М.: Наука, 1981. С. 210-220.
12. Полевой В.В. Физиология растений. М.: Высшая школа, 1989. 464 с.
13. Селиховкин А.В. Березовый семеед в условиях сильного промышленного загрязнения воздуха. Экология и защита леса: экология лесных животных. Л.: ЛТА, 1986. С. 48-51.
14. Тарабрин В.П. Физиология устойчивости древесных растений в условиях загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. Микроэлементы в окружающей среде. Киев: Наука думка, 1980. С. 17-19.
15. Фролов А.К. Особенности фотосинтетического аппарата липы мелколистной в уличных посадках города. Всесоюзное совещание по вопросам адаптации древесных растений к экстремальным условиям среды. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1981. С. 132-134.
16. Фролов А.К., Горышина Т.К. Особенности фотосинтетического аппарата некоторых древесных пород в городских условиях. Ботанический журнал, 1982, Том 67. № 5. С. 599-609.
17. Чертов О.Г., Лянгузова И.В., Кордюкова Е.В. Подвижность тяжёлых металлов в загрязнённых гумусово-иллювиальных подзолистых почвах. Почвоведение, 1985, № 5. С. 50-56.