

ЭКОЛОГИЯ

УДК 574.2, 57.047

doi: 10.17223/19988591/44/11

С.В. Пестов^{1,2}, И.Г. Тычинкина¹, С.Ю. Огородникова^{1,2}

¹Вятский государственный университет, г. Киров, Россия

²Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

Влияние галловых клещей на состояние ассимиляционного аппарата липы сердцевидной

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по темам «Оценка и прогноз отсроченного техногенного воздействия на природные и трансформированные экосистемы подзоны южной тайги» № гос. регистрации AAAA-A17-117121990125-5.

Представлены данные о влиянии двух видов галловых клещей *Eriophyes tiliae* и *E. leiosoma* на состояние листьев липы сердцевидной. Сбор материала проведён в Кировской области в черте г. Кирова и пос. Осиновка. Для определения степени повреждения растений галлообразователями с каждого участка собирали 100 листьев (по 10 листьев с 10 деревьев). Для определения морфологических параметров на участках с наибольшей степенью повреждения галловыми клещами случайным образом отбирали по 50 поврежденных и 50 неповрежденных листьев. Определяли длину и ширину листа, содержание хлорофиллов и каротиноидов в экстракте. Установлено, что изученные виды клещей по-разному реагируют на условия окружающей среды и различаются распределением по местообитаниям. *E. tiliae* занимает более широкий спектр биотопов, чем *E. leiosoma*. Оба вида галловых клещей не встречаются на одном листе в пределах одного дерева. Заселение липы галловыми клещами оказывает влияние на размеры ассимиляционных органов, что проявляется в уменьшении длины и ширины листьев. Степень изменений в фотосинтетическом аппарате листа зависит от вида галловых клещей. Статистически значимое снижение ($p < 0,05$) содержания хлорофиллов вызывает *E. leiosoma*, а *E. tiliae* не влияет на содержание и соотношение зеленых пигментов, но индуцирует накопление каротиноидов в листьях. Выявленные в ходе исследований изменения ассимиляционного аппарата липы сердцевидной свидетельствуют об опасности галловых клещей для липовых насаждений в городах и указывают на необходимость совершенствования системы мероприятий по надзору за этой группой филофагов и мер борьбы с ними.

Ключевые слова: галловые клещи; хлорофилл; каротиноиды; урбанизированные территории; *Eriophyes tiliae*; *Eriophyes leiosoma*; *Tilia cordata*.

Введение

Галлообразующие членистоногие образуют особую группу беспозвоночных, представители которой ведут скрытый образ жизни, развиваясь в тканях листьев и стеблей различных растений [1]. Они широко распространены как в природных экосистемах, так и в созданных человеком растительных сообществах [2, 3]. Известно, что наибольшее число видов галлообразователей (77,9% от общего количества видов в комплексе) развиваются на листьях растений [4]. Растительные ткани, внутри которых развиваются представители данной экологической группы, играют роль барьера, защищающего их от негативных факторов среды. Повреждая ассимиляционные ткани, галлообразователи причиняют растениям значительный ущерб, выраженный в угнетении накопления биомассы. Внешне активность этих членистоногих проявляется в виде пятен на листьях, а различные деформации приводят к снижению декоративности растений и кустарников в зеленых насаждениях городов [5].

Состояние ассимиляционного аппарата определяет рост и развитие растений [6]. Известно, что в листьях разных видов растений, поврежденных галлами, фотосинтетическая активность у одних видов может снижаться [7], а у других увеличиваться [8]. В листьях с галлами отмечен высокий уровень окислительного стресса, что может приводить к деградации тилакоидов и образованию пластоглобул [9]. Листья, поврежденные галлами, отличаются повышенной концентрацией простых сахаров и липидов, в том числе и за счет транспорта растворенных питательных веществ из здоровых листьев в галлы [10, 11]. В качестве инициатора процесса образования галла выступают либо специфические биохимические триггеры слюны клеща, вызывающие локальное повышение содержания фитогормонов, либо микробные фитопатогены, выделяющие вещества, запускающие аномальный рост [12].

Некоторые виды галлообразователей учитывают при лесопатологическом контроле: *Adelges laricis* Vallot, *Aphrastasia pectinatae* Cholodkovsky, *Diplolepis mayri* Schlechtendal, *Harmandiola cavernosa* Rübsaamen [13]. Ранее оценено влияние экологических характеристик биотопов на формирование комплекса галлообразующих видов на древесных растениях на территории г. Сыктывкара [14, 15]. Цель данной работы – изучить влияние галловых клещей на состояние листьев липы сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.).

Материалы и методики исследования

Сбор материала проведен в августе 2016–2017 гг. в пос. Осиновка Кильмезского района Кировской области и в августе 2017 г. в г. Кирове. Изученные территории относятся к подзоне южной тайги. В окрестностях пос. Осиновка липа произрастает в пойме р. Лобань и березняке. Эти участки рассматривали в качестве не испытывающих антропогенного воздей-

ствия. В Кирове обследовали четыре парка (рис. 1), два из которых находятся в центре города (Александровский сад, парк им. Ю.А. Гагарина) и два – на окраине (Дендропарк, Заречный парк) (рис. 1). Кроме парков, материал собран в липовых посадках на трех участках вдоль городских улиц (Ленина, Блюхера и Ключевая). Участки парковых насаждений испытывают только рекреационную нагрузку, а участки вдоль городских улиц рассматривали как испытывающие аэротехногенную автотранспортную нагрузку. Внутри участка листья отбирали с растений, находящихся в одинаковых экологических условиях (уровень освещенности, увлажнения и т.д.). Выбирали растения с четко выраженными видовыми признаками, достигшие генеративного возрастного состояния. Отбирали листья из нижней части кроны с разных ее сторон. Для определения степени повреждения растений галлообразователями с каждого участка собирали 100 листьев (по 10 листьев с 10 деревьев). Для определения морфологических параметров на участках с наибольшей степенью повреждения галловыми клещами случайным образом отбирали по 50 поврежденных и 50 неповрежденных листьев. Определяли длину и ширину листа.

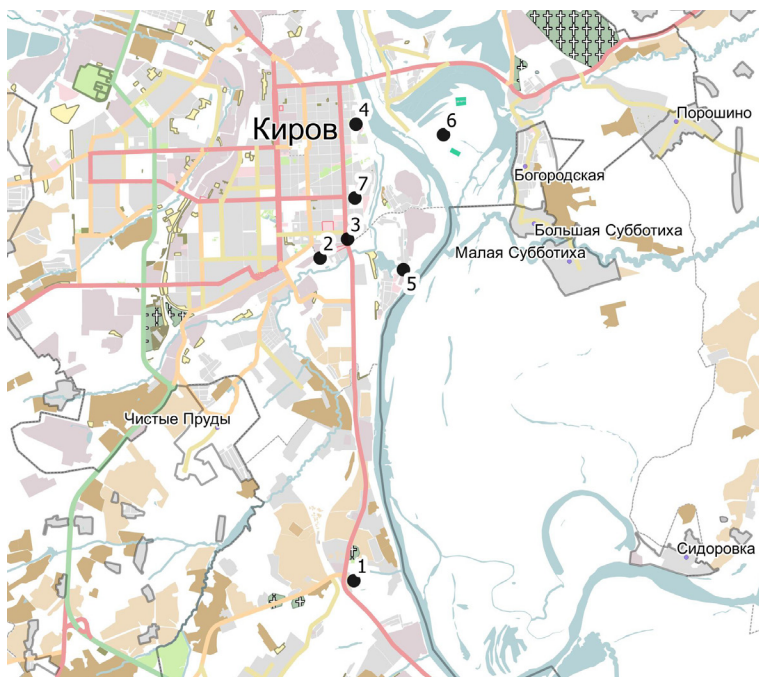


Рис. 1. Карта расположения пробных участков в г. Кирове. Цифрами на карте обозначены: 1 – Дендропарк; 2 – ул. Блюхера; 3 – ул. Ленина; 4 – Александровский сад; 5 – ул. Ключевая; 6 – Заречный парк; 7 – Парк им. Ю.А. Гагарина

[Fig 1. Location of sampling sites in Kirov. The location of sites is indicated by numbers: 1 - Dendropark; 2 - Blucher Str.; 3 - Lenin Str.; 4 - Alexandrovskiy Garden; 5 - Klichevaya Str.; 6 - Zarechny Park; 7 - Gagarin Park]

Листья для определения фотосинтетических пигментов липы отбирали в первой половине дня (10:00–12:00). Пробы листьев (150–200 мг) фиксировали кипящим 100%-ным уксусом. Содержание хлорофиллов и каротиноидов в экстракте определяли спектрофотометрически с использованием спектрофотометра SPEKOL 1300 (Analytik Jena, Германия). Зеленые пигменты определяли при длинах волн 662 и 644 нм для хлорофилла *a* и *b* соответственно [16]. Содержание каротиноидов оценивали путем регистрации оптической плотности при длине волны 470 нм [17]. Содержание пластидных пигментов рассчитывали по формулам (1)–(3):

$$\rho_a = 0,0117A_{\text{см}\lambda_1} - 0,00216A_{\text{см}\lambda_2}, \quad (1)$$

$$\rho_b = 0,0218A_{\text{см}\lambda_2} - 0,0038A_{\text{см}\lambda_1}, \quad (2)$$

$$\rho_k = 0,0426A_{\text{см}\lambda_3} - 0,103\rho_b, \quad (3)$$

где ρ_a , ρ_b , ρ_k – массовые концентрации хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов в уксусном растворе соответственно, мг/см³; $A_{\text{см}\lambda_1}$, $A_{\text{см}\lambda_2}$, $A_{\text{см}\lambda_3}$ – оптические плотности раствора при длинах волн $\lambda_1 = 662$ нм, $\lambda_2 = 644$ нм, $\lambda_3 = 470$ нм соответственно. Количество пигментов в листьях липы выражали на грамм сухого вещества, для этого были отобраны пробы растительного материала и в них определено содержание сухого вещества.

Статистическая обработка полученных данных выполнена в программе Past 2.17, построение графиков осуществлялось в Excel 2002 for Windows.

Результаты исследования и обсуждение

Оценка повреждения листьев. В исследованных районах Кировской области галлообразователи липы представлены двумя видами: липовый рожковый клещ (*Eriophyes tiliae* Pagenstecher) и липовый войлочный клещ (*Eriophyes leiosoma* Nalepa). Первый из них – *E. tiliae* – образует характерные, сильно удлиненные галлы на верхней стороне листовой пластинки. Повреждения второго вида – *E. leiosoma* – представляют собой желтовато-белые войлочные на нижней стороне листа.

Изученные виды клещей имеют разную устойчивость к условиям окружающей среды. В окрестностях пос. Осиновка материал собирали в пойме р. Лобань и в березняке. На территории поселка галловые клещи на липе не встречались (рис. 2). Клещ *E. leiosoma* отмечали только в лесном биотопе. Заселение листьев липы клещом *E. tiliae* отмечали как на пойменном участке, так и в березняке. В большей степени *E. tiliae* повреждали листья липы, произрастающей в пойме реки. В г. Кирове участки разделены на два типа: уличные посадки вдоль городских магистралей и парковые насаждения. В урбанизированных местообитаниях (рис. 3) повреждение липы клещом *E. tiliae* выше в парковых насаждениях, по сравнению с уличными, в то время как клещ *E. leiosoma* встречался преимущественно в насаждениях вдоль городских улиц. Выявлено, что эти два вида галловых клещей не встречают-

ся на одном листе в пределах одного дерева, что может свидетельствовать о конкурентных отношениях между ними.

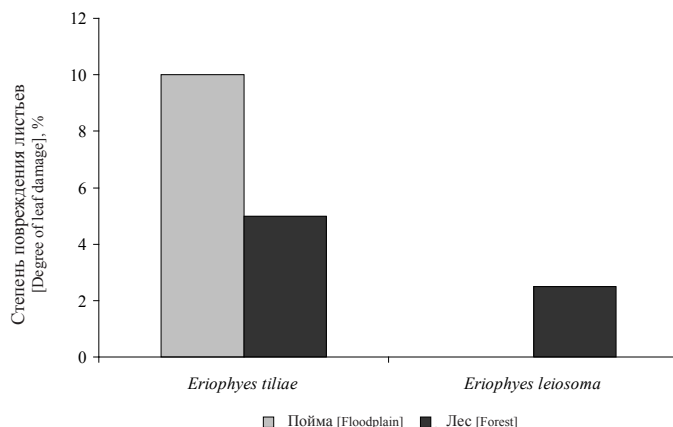


Рис. 2. Повреждение листьев липы галлообразователями в окрестностях пос. Осиновка (Кильмезский район)

[Fig 2. The damage of linden leaves by gall mites in the vicinity of the village of Osinovka (Kilmez district)]

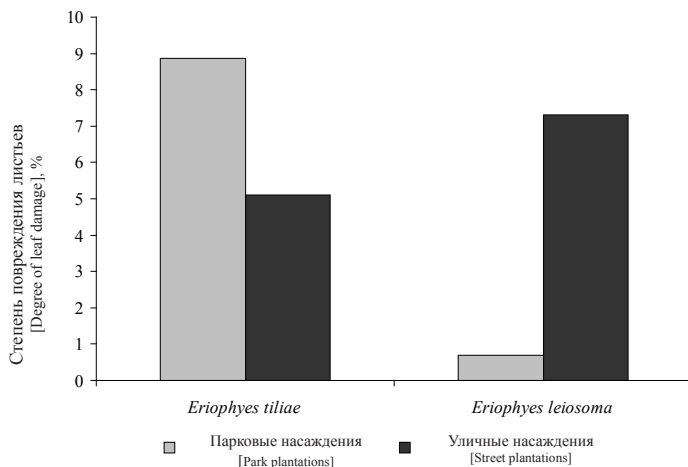


Рис. 3. Повреждение листьев липы галлообразователями в г. Кирове

[Fig. 3. The damage of linden leaves by gall mites in the vicinity of Kirov city]

Влияние галлообразователей на размеры листа. На участках максимальной повреждаемости галловыми клещами проводили сравнительную оценку морфологических особенностей здоровых и поврежденных листьев. Выявлено, что практически на всех обследованных участках повреждение

листьев вызывает статистически значимое ($p < 0,05$) уменьшение линейных размеров листа (рис. 4, 5). Некоторое увеличение длины листьев, поврежденных *E. tiliae*, и ширины листьев, поврежденных *E. leiosoma*, в г. Кирове не относится к значимым изменениям. Выявленные морфологические изменения листьев свидетельствуют о негативном влиянии галловых клещей на состояние ассимиляционных органов, что может привести к угнетению роста и развития растений.

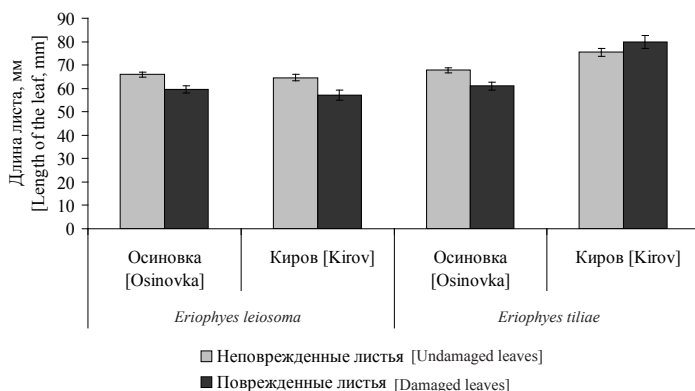


Рис. 4. Изменение длины листа липы при повреждении галловыми клещами
[Fig. 4. Change in the length of the linden leaf in case of damage by gall mites]

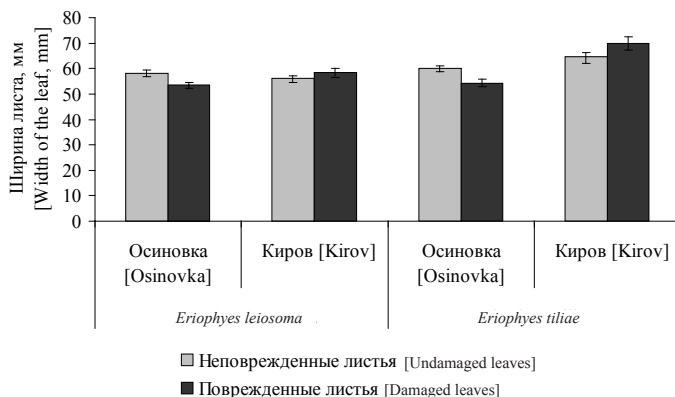


Рис. 5. Изменение ширины листа липы при повреждении галловыми клещами
[Fig. 5. Change in the width of the linden leaf in case of damage by gall mites]

Оценка содержания фотосинтетических пигментов в листьях. Для оценки состояния растений используются физиолого-биохимические характеристики ассимилирующих органов, которые в значительной мере опре-

деляют ростовые и репродуктивные процессы. Одним из биохимических показателей реакции растений на действие факторов среды является содержание пластидных пигментов – хлорофиллов и каротиноидов (рис. 6, 7).

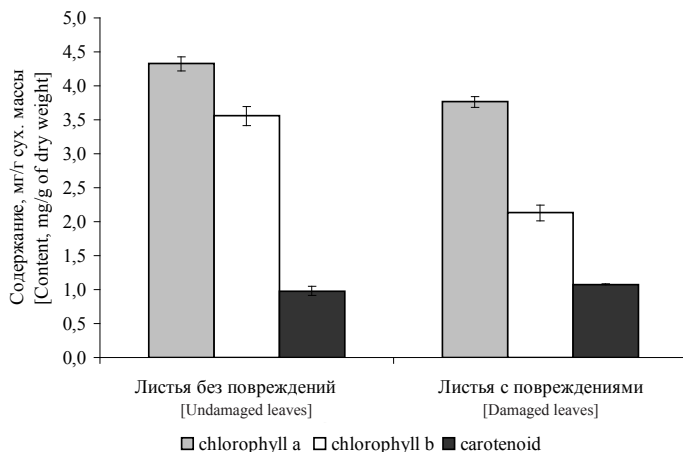


Рис. 6. Содержание пигментов в листьях липы, поврежденных *Eriophyes leiosoma* (парк им. Ю.А. Гагарина)

[Fig. 6. The content of pigments in linden leaves damaged by *Eriophyes leiosoma* (Gagarin Park)]

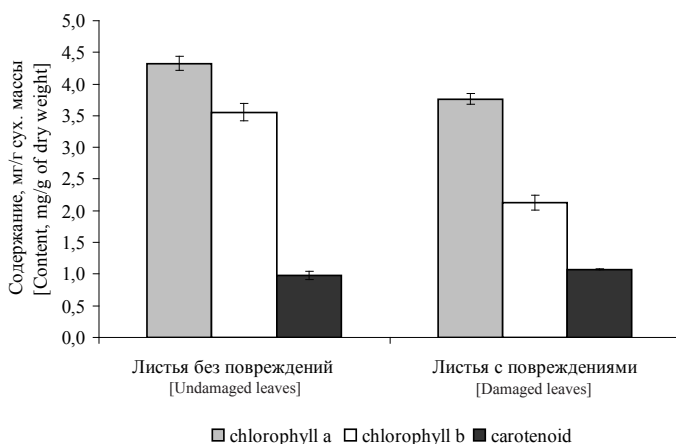


Рис. 7. Содержание пигментов в листьях липы, поврежденных *Eriophyes leiosoma* (Дендропарк)

[Fig. 7. The content of pigments in linden leaves damaged by *Eriophyes leiosoma* (Dendropark)]

Установлено, что повреждение липы гладким войлочным клещом (*E. leiosoma*) приводит к изменению в пигментном комплексе листьев (см. рис. 6, 7). Выявлена сходная тенденция изменений состава и соотношения

пигментов в листьях растений, отобранных с разных участков. В листьях с галлами происходило снижение уровня хлорофиллов, по сравнению со здоровыми листьями. Среди зеленых пигментов хлорофилл *b* отличался большей чувствительностью к повреждению листьев галловым клещом. В листьях с галлами, отобранных в парковых зонах, содержалось хлорофилла *b* на 30–40% меньше по сравнению с неповрежденными листьями. Накопление хлорофилла *a* в поврежденных листьях снижалось на 15%. Ранее описано, что заселение тканей листа галлами приводит к снижению накопления хлорофиллов [9, 18, 19]. Насекомые-галлообразователи при повреждении листьев древесных растений вызывают изменение процессов биосинтеза и деградации хлорофиллов [20].

Каротиноиды по сравнению с хлорофиллами характеризовались большей устойчивостью к заселению листа клещом. В листьях с галлами, отобранных в парке им. Ю.А. Гагарина, отмечали небольшое (9%) возрастание уровня каротиноидов по сравнению со здоровыми листьями.

Анализ данных по содержанию пластидных пигментов в листьях липы с галлами показал, что степень изменений в пигментном фонде зависит от вида галловых клещей. Липовый рожковый клещ не вызывал изменений содержания и соотношения хлорофиллов, но индуцировал накопление каротиноидов в листьях (таблица). В листьях с галлами содержалось больше желтых пигментов (на 16%), по сравнению с неповрежденными листьями. Известно, что каротиноиды выполняют в листе протекторную функцию, защищая компоненты клеток от окислительного повреждения [6]. По-видимому, накопление каротиноидов в листьях направлено на адаптацию к действию галловых клещей. Рожковый галл представляет собой мешковидное разрастание на верхней стороне листьев липы, как правило, красного цвета. Возможно, определенный вклад в общее содержание каротиноидов вносят окрашенные разрастания ткани листа в области заселения рожковым галловым клещом.

Содержание пигментов в листьях липы, поврежденных *E. tiliae* (уличные посадки)
[The content of pigments in linden leaves damaged by *E. tiliae* (street plantations)]

Вариант [Variant]	Содержание, мг/г сухой массы [Content, mg/g of dry weight]			Отношение [Ratio]		
	хлорофилл [chlorophyll]			кароти- ноиды [carotenoids]	хлорофилл <i>a/b</i> [chloro- phyll <i>a/b</i>]	сумма хлорофил- лов / каротиноиды [sum of chlorophylls / carotenoids]
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>			
Листья без повреждений [Undamaged leaves]	3,02 ±0,27	1,80 ±0,25	4,81	0,86 ±0,05	1,68	5,57
Листья с по- вреждениями [Damaged leaves]	3,16 ±0,12	1,88 ±0,08	5,03	1,00 ±0,04	1,68	5,04

Заключение

В ходе работы на исследованных территориях на листьях липы встречено два вида галловых клещей – *E. tiliae* и *E. leiosoma*, которые широко распространены в пределах ареала липы. Обнаружено, что изученные виды клещей по-разному реагируют на условия окружающей среды и различаются распределением по местообитаниям. *E. tiliae* занимает более широкий спектр биотопов и встречается как в пойменных, так и лесных местообитаниях, парковых и уличных насаждениях. *E. leiosoma* отмечен преимущественно в березняке и уличных посадках. Эти два вида галловых клещей не встречаются на одном листе в пределах одного дерева, что может свидетельствовать о конкурентных отношениях между ними. Заселение липы галловыми клещами оказывает влияние на размеры ассимиляционных органов, что проявляется в уменьшении длины и ширины листьев. Галлообразователи оказывают влияние на содержание фотосинтетических пигментов в листьях липы. Степень изменений в пигментном фонде зависит от вида галловых клещей. Значимое снижение хлорофиллов вызывает *E. leiosoma*, а *E. tiliae* не влияет на содержание и соотношение зеленых пигментов, но индуцирует накопление каротиноидов в листьях. Выявленные в ходе работы изменения ассимиляционного аппарата липы сердцевидной свидетельствуют об опасности галловых клещей для липовых насаждений в городах и указывают на необходимость совершенствования системы мероприятий по надзору за этой группой филлофагов и мер борьбы с ними.

Литература

1. Слепян Э.И. Патологические новообразования и их возбудители у растений. Л.: Наука, 1973. 510 с.
2. Белицкая М.Н. Особенности фауны галлообразователей в популяциях лесополосах аридной зоны // Экология России: на пути к инновациям. 2015. № 11. С. 105–107.
3. Леонтьева И.А., Яковлева И.А. Обзор фауны галлообразующих членистоногих городских зеленых насаждений г. Елабуги // Успехи современной науки и образования. 2017. Т. 8, № 4. С. 180–187.
4. Белов Д.А. Особенности комплекса галлообразующих членистоногих в городских насаждениях Москвы // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2008. № 1. С. 73–78.
5. Бухарина И.Л. Эколого-биологические особенности адаптации древесных растений в условиях урбосреды // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2008. Т. 10, № 2. С. 607–612.
6. Photosynthetic pigments: chemical structure, biological function and ecology. Syktyvkar, 2014: Komi Scientific Center, Ural Division of the Russian Academy of Sciences. 448 p.
7. Huang M.-Y., Chou H.-M., Chang Y.-T., Yang C.-M. The number of cecidomyiid insect galls affects the photosynthesis of *Machilus thunbergii* host leaves // Journal of Asia-Pacific Entomology. 2014. Vol. 17, № 2. PP. 151–154. doi: doi.org/10.1016/j.aspen.2013.12.002
8. Аникин В.В., Никельшпарг М.И., Никельшпарг Э.И., Конюхов И.В. Фотосинтетическая активность у повилики *Cuscuta campestris* (Convolvulaceae) при заселении растения галлообразователем-долгоносиком *Smicronyx smreczynskii* (Coleoptera, Curculionidae)

- // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, № 1. С. 42–47.
9. Oliveira D.C., Isaías R.M.S., Moreira A.S.F.P., Magalhães T.A., Lemos-Filho J.P. Is the oxidative stress caused by *Aspidosperma* spp. galls capable of altering leaf photosynthesis? // Plant Science. 2011. Vol. 180, № 3. PP. 489–495. doi: doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.11.005
 10. Motta L.B., Kraus J.E., Salatino A., Maria L.F. Distribution of metabolites in galled and non-galled foliar tissues of *Tibouchina pulchra* // Biochemical Systematics and Ecology. 2003. Vol. 33. PP. 971–981. doi: doi.org/10.1016/j.bse.2005.02.004
 11. Glushakova A.M., Kachalkin A.V. Endophytic yeasts in leaf galls // Microbiology. 2017. Vol. 86, № 2. PP. 250–256. doi: [10.1134/S0026261717020096](https://doi.org/10.1134/S0026261717020096)
 12. Chetverikov P.E., Vishyakov A.E., Dodueva I.T., Osipova M.A., Sukhareva S.I., Shavarda A.L. Gallogenesis induced by Eriophyoids (Acariformes: Eriophyoidea) // Entomological Review. 2015. Vol. 95, № 8. PP. 1137–1143 doi: doi.org/10.1134/S0013873815080217
 13. Юркина Е.В., Пестов С.В. Возможности применения галлообразующих представителей членистоногих животных в качестве биоиндикаторов условий урбанизированной среды (на примере г. Сыктывкар) // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2017. Т. 21, № 3. С. 49–60.
 14. Mingaleva N.A., Pestov S.V., Zagirova S.V. Health status and biological damage to tree leaves in green areas of Syktyvkar // Contemporary Problems of Ecology. 2011. Vol. 4, № 3. PP. 310–318. doi: doi.org/10.1134/S1995425511030106
 15. Юркина Е.В., Пестов С.В. Видовое разнообразие членистоногих галлообразователей урбанизированной среды г. Сыктывкара // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 1. С. 77–83.
 16. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes // Methods in Enzymology, 1987. Vol. 148. PP. 350–382.
 17. Маслова Т.Г., Попова И.А., Попова О.Ф. Критическая оценка спектрофотометрического метода количественного определения каротиноидов // Физиология растений. 1986. Т. 39, № 6. С. 615–619.
 18. Yang C.M., Yang M.M., Huang M.Y., Hsu J.M., Jane W.N. Herbivorous insect causes deficiency of pigment-protein complexes in an oval-pointed cecidomyiid gall of *Machilus thunbergii* leaves // Botanical Bulletin of Academia Sinica. 2003. Vol. 44. PP. 314–321.
 19. Dias G.G., Moreira G.R.P., Ferreira B.G., Isaías R.M.S. Why do the galls induced by *Calophya duvaui* Scott on *Schinus polygamus* (Cav.) Cabrera (Anacardiaceae) change colors? // Biochemical Systematic and Ecology. 2013. Vol. 48. PP. 111–122. doi: doi.org/10.1016/j.bse.2012.12.013
 20. Huang M.-Y., Huang W.-D., Chou H.-M., Chen C.-C., Chang Y.-T., Yang C.-M. Herbivorous insects alter the chlorophyll metabolism of galls on host plants // Journal of Asia-Pacific Entomology. 2014. Vol. 17, № 3. PP. 431–434. doi: doi.org/10.1016/j.aspen.2014.04.004

Поступила в редакцию 18.03.2018 г.; повторно 06.07.2018 г.;
принята 12.09.2018 г.; опубликована 27.12.2018 г.

Авторский коллектив:

Пестов Сергей Васильевич – канд. биол. наук, доцент кафедры экологии и природопользования Института химии и экологии, Вятский государственный университет (Россия, 610000, г. Киров, ул. Московская, д. 36), н.с. лаборатории биомониторинга, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН (Россия, 167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28).

E-mail: atylotus@mail.ru

Тычинкина Ирина Георгиевна – магистрант кафедры экологии и природопользования Института химии и экологии, Вятский государственный университет (Россия, 610000, г. Киров, ул. Московская, д. 36).

E-mail: irinatg421@gmail.com

Огородникова Светлана Юрьевна – канд. биол. наук, доцент кафедры экологии и природопользования Института химии и экологии, Вятский государственный университет (Россия, 610000, г. Киров, ул. Московская, д. 36), с.н.с. лаборатории биомониторинга, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН (Россия, 167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28).

E-mail: svetao_05@mail.ru

For citation: Pestov SV, Tychinkina IG, Ogorodnikova SYu. The effect of gall mites on the condition of *Tilia cordata* assimilation apparatus. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* = *Tomsk State University Journal of Biology*. 2018;44:188-201. doi: 10.17223/19988591/44/11 In Russian, English Summary

Sergey V. Pestov^{1,2}, Irina G. Tychinkina¹, Svetlana Yu. Ogorodnikova^{1,2}

¹*Vyatka State University, Kirov, Russian Federation*

²*Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Division of the Russian Academy of Sciences, Syktvykar, Russian Federation*

The effect of gall mites on the condition of *Tilia cordata* assimilation apparatus

The aim of this research was to study the effects of gall mites on the condition of linden leaves (*Tilia cordata* Mill.). The research presents the results of the study of two species of gall mites, *Eriophyes tiliae* and *E. leiosoma*, which are widely distributed within the range of the linden.

We collected material in the village of Osinovka, Kilmez district, Kirov region in August 2016-2017 and in Kirov city in August 2017 (See Fig. 1). The studied territories belong to the subzone of the southern taiga. We selected plant species with distinct characteristics which had attained their generative age state, and also leaves from the bottom of the crown on different sides. To determine the degree of plant damage by gall, we collected leaves (10 leaves from 10 trees) at each site. To define the morphological parameters in the areas with the highest degree of damage by gall mites, 50 damaged and 50 undamaged leaves were randomly selected. The length and the width of the leaf were measured. Leaves for determining linden photosynthetic pigments were selected in the morning (10:00-12:00). Leaf samples (150-200 mg) were fixed with 100% boiling acetone. The content of green and yellow pigments in *Tilia cordata* leaves in the acetone extract was determined by spectrophotometer SPEKOL 1300 (Analytik Jena, Germany) at wavelengths 662 and 644 nm for chlorophyll a and b, respectively. Determination of carotenoids was carried out at 470 nm.

Two species of gall mites inhabit the studied sites of linden: *Eriophyes tiliae* Pagenstacher and *E. leiosoma* Nalepa. *E. tiliae* forms typical highly elongated galls on the upper side of the leaf. *E. leiosoma* damage shows yellowish-white felts on the underside of the leaf. We established that the studied species of mites react differently to environmental conditions and differ in their habitat distribution. *E. tiliae* mite occupies a wider range of habitats than *E. leiosoma*. We noted that both species of mites do not occur on the same leaf of the same tree. In the vicinity of the village of Osinovka, we collected material in the Loban river floodplain and in a birch forest (See Fig. 2). On the territory of the village, no gall mites were found on the linden. *E. leiosoma* mite was only encountered in the forest biotope. We observed infestation of linden leaves by *E. tiliae* mites both in the floodplain area and in the birch forest. *E. tiliae* mites severely damaged linden leaves in the river floodplain. In urban areas, linden damage by *E. tiliae* mites was higher in parks than along streets, whereas *E. leiosoma* was mainly found in street plantations and not in parks (See Fig. 3). We revealed that in all investigated areas, leaf damage causes a statistically significant ($p < 0.05$) reduction in the length

and width of leaves (See Fig. 4 and 5). The identified morphological changes in leaves indicate the negative impact of gall mites on the condition of the assimilative organs, which can lead to the inhibition of plant growth and development. To assess the state of plants, we used physiological and biochemical characteristics of the assimilating organs that determine the growth and reproductive processes. Data analysis of the content of plastid pigments in *T. cordata* leaves with gall showed that the degree of change in the pigment fund depends on the type of gall mites. *E. leiosoma* caused a significant decrease in chlorophylls (See Fig. 6 and 7). *E. tiliae* did not cause changes in the content and ratio of chlorophylls, but induced the accumulation of carotenoids in leaves (See Table). The level of yellow pigments in leaves with galls was significantly higher (16%), compared to undamaged leaves. Of the green pigments, chlorophyll *b* was more sensitive to leaf damage by gall mites. Carotenoids, in comparison with chlorophylls, were characterized by a greater resistance to leaf infestation by mites. Thus, the identified changes in *Tillia cordata* assimilation apparatus demonstrate the dangers of gall mites for *Tillia cordata* plantations in cities and emphasize the necessity to improve the monitoring of these phyllophages and measures to combat them.

The paper contains 7 Figures, 1 Table and 20 References.

Key words: gall mites; chlorophyll; carotenoids; urban territory; *Tilia cordata*; *Eriophyes tiliae*; *Eriophyes leiosoma*.

Funding: The research was carried out within the framework of the state task of the Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Division of the Russian Academy of Sciences, on “Assessment and forecast of delayed technogenic impact on natural and transformed ecosystems of the southern taiga subzone” (No AAAA-A17-117121990125-5).

References

1. Slepyan EI. Patologicheskie novoobrazovaniya i ikh vozbuditeli u rasteniy [Pathological neoplasms and their pathogens in plants]. Leningrad: Nauka Publ.; 1973. 510 p. In Russian
2. Belitskaya MN. Osobennosti fauny gallobrazovateley v polezashchitnykh lesopolosakh aridnoy zony [Peculiarities of the fauna of the insects forming galls in shelterbelts in the arid zone]. *Ekologiya Rossii: na puti k innovatsiyam* [Ecology in Russia: on the way to innovations]. 2015;11:105-107 In Russian
3. Leont'eva IA, Yakovleva IA. Obzor fauny galloobrazuyushchikh chlenistonogikh gorodskikh zelenykh nasazhdeniy g. Elabugi [Review of the fauna of arthropods hellobrowser urban green spaces Yelabuga]. *Uspekhi sovremennoy nauki i obrazovaniya = Success of Modern Science and Education*. 2017;8(4):180-187. In Russian
4. Belov DA. Osobennosti kompleksa galloobrazuyushchikh chlenistonogikh v gorodskikh nasazhdeniyakh Moskvy [Peculiarities of gall arthropoda in urban plantations of Moscow]. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*. 2008;1:73-78. In Russian
5. Bukharina IL. Ecological-biological features of adaptation of wood plants in conditions of the city environment. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2008;10(2):607-612. In Russian
6. *Photosynthetic pigments: Chemical structure, biological function and ecology*. Golovko TK, Gruszecki WI, Prasad MNV and Strzalka KJ, editors. Syktyvkar: Publishing House of the Komi Science Center of the UD RAS; 2014. 448 p.
7. Huang M-Y, Chou H-M, Chang Y-T, Yang C-M. The number of cecidomyiid insect galls affects the photosynthesis of *Machilus thunbergii* host leaves. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 2014;17(2):151-154 doi: [10.1016/j.aspen.2013.12.002](https://doi.org/10.1016/j.aspen.2013.12.002)

8. Anikin VV, Nikelshparg MI, Nikelshparg EI, Konyukhov IV. Photosynthetic activity of the dodder *Cuscuta campestris* (Convolvulaceae) in case of plant inhabitation by the gallformed weevil *Smicronyx smreczynskii* (Coleoptera, Curculionidae). *Izvestia Saratov University (N.S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017;17(1):42-47. doi: [10.18500/1816-9775-2017-17-1-42-47](https://doi.org/10.18500/1816-9775-2017-17-1-42-47) In Russian
9. Oliveira DC, Isaias RMS, Moreira ASFP, Magalhães TA, Lemos-Filho JP. Is the oxidative stress caused by *Aspidosperma* spp. galls capable of altering leaf photosynthesis? *Plant Science*. 2011;180(3):489-495. doi: [10.1016/j.plantsci.2010.11.005](https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.11.005)
10. Motta LB, Kraus JE, Salatino A, Maria LF. Distribution of metabolites in galled and non-galled foliar tissues of *Tibouchina pulchra*. *Biochemical Systematics and Ecology*. 2003;33:971-981. doi: [10.1016/j.bse.2005.02.004](https://doi.org/10.1016/j.bse.2005.02.004)
11. Glushakova AM, Kachalkin AV. Endophytic yeasts in leaf galls. *Microbiology*. 2017;86(2):250-256. doi: [10.1134/S0026261717020096](https://doi.org/10.1134/S0026261717020096)
12. Chetverikov PE, Vishyakov AE, Dodueva IT, Osipova MA, Sukhareva SI, Shavarda AL. Gallogenesis induced by Eriophyoids (Acariformes: Eriophyoidea). *Entomological Review*, 2015;95(8):1137-1143 doi: [10.1134/S0013873815080217](https://doi.org/10.1134/S0013873815080217)
13. Yurkina EV, Pestov SV. Possibilities of application the gallforming representatives of arthropods animals as bioindicators of conditions in the urban environment (on the example of Syktyvkar). *Lesnoy vestnik. Forestry Bulletin*. 2017;21(3):49-60. doi: [10.18698/2542-1468-2017-3-49-60](https://doi.org/10.18698/2542-1468-2017-3-49-60) In Russian, English summary
14. Mingaleva NA, Pestov SV, Zagirova SV. Health status and biological damage to tree leaves in green areas of Syktyvkar. *Contemporary Problems of Ecology*. 2011;4:310-318. doi: [10.1134/S1995425511030106](https://doi.org/10.1134/S1995425511030106)
15. Yurkina EV, Pestov SV. Biodiversity of gall-forming arthropods in the urban environment of the city of Syktyvkar. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*. 2017;1:77-82. In Russian, English Summary
16. Lichtenthaler HK. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. 1987;148:350-382.
17. Maslova TG, Popova IA, Popova OF. Kriticheskaya otsenka spektrofotometricheskogo metoda kolichestvennogo opredeleniya karotinoidov [Critical assessment of the spectrophotometric method for quantitative determination of carotenoids]. *Fiziologiya rasteniy = Russian Journal of Plant Physiology*. 1986;39(6):615-619. In Russian
18. Yang CM, Yang MM, Huang MY, Hsu JM, Jane WN. Herbivorous insect causes deficiency of pigment-protein complexes in an oval-pointed cecidomyiid gall of *Machilus thunbergii* leaves. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 2003;44:314-321.
19. Dias GG, Moreira GRP, Ferreira BG, Isaias RMS. Why do the galls induced by *Calophya duvauei* Scott on *Schinus polygamus* (Cav.) Cabrera (Anacardiaceae) change colors? *Biochemical Systematic and Ecology*. 2013;48:111-122. doi: [10.1016/j.bse.2012.12.013](https://doi.org/10.1016/j.bse.2012.12.013)
20. Huang M-Y, Huang W-D, Chou H-M, Chen C-C, Chang Y-T, Yang C-M. Herbivorous insects alter the chlorophyll metabolism of galls on host plants. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 2014;17(3):431-434. doi: [10.1016/j.aspen.2014.04.004](https://doi.org/10.1016/j.aspen.2014.04.004)

Received 18 March 2018; Revised 06 July 2018;

Accepted 27 September 2018; Published 27 December 2018

Author info:

Pestov Sergey V, Cand. Sci. (Biol.), Researcher, Assoc. Prof., Department of Ecology and Nature Management, Institute of Chemistry and Ecology, Vyatka State University, 36 Moskovskaya Str., Kirov 610000, Russian Federation; Researcher, Institute of Biology, Komi Scientific Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 28 Kommunisticheskaya Str., Syktyvkar 167982, Russian Federation.
E-mail: atylotus@mail.ru

Tychinkina Irina G, Graduate Student, Department of Ecology and Nature Management, Institute of Chemistry and Ecology, Vyatka State University, 36 Moskovskaya Str., Kirov 610000, Russian Federation.
E-mail: irinatg421@gmail.com

Ogorodnikova Svetlana Yu, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Assoc. Prof., Department of Ecology and Nature Management, Institute of Chemistry and Ecology, Vyatka State University, 36 Moskovskaya Str., Kirov 610000, Russian Federation; Researcher, Institute of Biology, Komi Scientific Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 28 Kommunisticheskaya Str., Syktyvkar 167982, Russian Federation.
E-mail: svetao_05@mail.ru