

УДК 528.91:504(1-21)

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-1-173-185

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ БИОИНДИКАЦИИ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

**Анна Юрьевна Луговская**

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, ст. преподаватель кафедры экологии и природопользования, тел. (383)361-08-86, e-mail: aulyg@mail.ru

**Елена Петровна Храмова**

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (383)339-98-17, e-mail: khramova@ngs.ru

**Елена Михайловна Лях**

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)339-98-17, e-mail: llyakh@rambler.ru

**Евгения Алексеевна Карпова**

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)339-98-17, e-mail: karyevg@mail.ru

В статье приведены результаты исследования изменений морфологических показателей листа кустарников родов *Spiraea* L. и *Syringa* L., произрастающих в условиях транспортно-промышленного загрязнения в г. Новосибирске. Морфологические показатели листа определялись на основе метода компьютерного анализа изображений средствами ГИС. Установлено, что растения родов *Spiraea* и *Syringa* в ответ на техногенное воздействие проявляют реакцию, заключающуюся в сокращении размеров ассимиляционных органов, увеличении значения коэффициента флуктуирующей асимметрии листа по сравнению с фоновыми растениями. Показано, что качество окружающей среды урбанизированной территории по коэффициенту флуктуирующей асимметрии листа соответствует высокому уровню загрязнения, фоновой – низкому. В качестве биоиндикаторов загрязнения окружающей среды могут быть рекомендованы спирея средняя, спирея дубравколистная и два сорта сирени обыкновенной ‘Надежда’ и ‘Олимпиада Колесникова’.

**Ключевые слова:** геоинформационные технологии, транспортно-промышленное загрязнение, биоиндикация, *Spiraea*, *Syringa*, морфометрические показатели, метод компьютерного анализа изображений, флуктуирующая асимметрия, листовая пластинка.

### Введение

В настоящее время доминирующим фактором, снижающим качество окружающей среды, является техногенное загрязнение, обусловленное воздействием промышленности, транспорта и другими видами антропогенной деятельности. Наиболее опасным и интенсивным источником загрязнения атмосферы

городов является автомобильный транспорт, в выбросах которого выявлено большое количество вредных веществ, среди которых особую опасность представляют оксиды углерода, углеводороды, оксиды азота, сажа, свинец, диоксид серы, альдегиды [1].

Существует множество способов и методов оценки состояния *окружающей* среды, одним из которых является биологический. Он представляется наиболее интегральным и объективным. В дополнение к инструментальным (физико-химическим) методам биологический подход позволяет получить объективную картину функционирования живых систем в различных условиях и увидеть ответную реакцию биоты на техногенное воздействие [2–6]. Кроме того, биологический метод имеет ряд преимуществ перед аналитическими, дающими информацию о содержании определенных загрязнителей, число которых регламентировано, а пункты наблюдений за состоянием окружающей среды расположены стационарно и в ограниченном количестве.

Одним из наиболее жестких в экологическом отношении техногенных факторов в Новосибирске является атмосферное загрязнение тяжелыми металлами и поллютантами, привносимое в городскую среду выбросами автотранспорта и промышленных предприятий (ТЭЦ, котельные, заводы).

Основными загрязнителями, дающими превышения по предельно допустимой концентрации (ПДК), в Новосибирске являются взвешенные вещества (пыль), оксиды азота, аммиак, оксид углерода, формальдегид, 3,4-бенз(а)пирен [1].

Хорошо известно, что поступающие в растительные организмы вредные компоненты выбросов вызывают широкий спектр изменений, которые можно характеризовать как стресс-индуцируемые. Обнаружение и оценка этих изменений в сочетании с физико-химическими методами позволяет дать достоверную картину условий места произрастания растений и отражает состояние окружающей среды. В качестве биологических индикаторов загрязнения может быть использована городская растительность, в том числе декоративные, используемые в зеленом строительстве, газоустойчивые и экологически пластичные виды родов *Spiraea* и *Syringa*.

Наиболее удобными и мощными инструментами для обработки ботанических данных являются различные геоинформационные системы (ГИС). Широко применяют ГИС для измерения различных параметров растений, в том числе и морфологических. Особенности использования ГИС для измерения морфологических параметров свежесобранного растительного материала являются исключение искажений при высушивании, высокая точность измерений, а также сохранение материала в цифровом виде. ГИС были использованы нами при изучении влияния транспортно-промышленного загрязнения на кустарниковые растения.

Цель работы заключалась в выявлении изменений морфологических показателей листа кустарников родов *Spiraea* L. и *Syringa* L. под воздействием транспортно-промышленного загрязнения в г. Новосибирске с использованием ГИС-технологий.

## Методы и материалы

Объектами исследования являлись кустарники рода *Spiraea* L. (сем. Rosaceae) – *Spiraea media* (спирея средняя), *S. chamaedryfolia* (спирея дубравколистная) и рода *Syringa* (сем. Oleaceae) – *Syringa vulgaris* (сирень обыкновенная) трех сортов: ‘Надежда’, ‘Олимпиада Колесникова’, ‘Память о Кирове’, последний из которых представлен на рис. 1. Эти виды используются в зеленом строительстве г. Новосибирска.



Рис. 1. *Syringa vulgaris* cv. ‘Память о Кирове’ (фото Е. М. Лях)

Для исследования были выбраны растения, выращенные в ЦСБС СО РАН и высаженные в сквере «Мемориал Славы» в 2003 г. в Ленинском районе, одном из наиболее неблагоприятных с экологической точки зрения (городские условия), и особи того же возраста, произрастающие на территории ЦСБС СО РАН, расположенного в относительно благоприятном по экологической обстановке Советском районе (Академгородок), взятые в качестве контрольных. Представители рода *Spiraea* произрастают в верхней части дендрария ЦСБС в отдаленности от автотранспорта, сирени – в нижней части дендрария на партере главного корпуса ЦСБС рядом с проезжей частью дорожного полотна с незначительным движением [7].

Отбор растительных образцов проводился в генеративную фазу в июне 2017 г. равномерно по периметру кроны и одновременно на обоих участках.

С каждого растения отбирали по 10 годичных побегов и формировали среднюю пробу. Все образцы из каждой выборки упакованы в полиэтиленовые пакеты и подписаны с указанием вида, сорта, места и даты сбора.

Свежесобранный растительный материал был отскан цифровым камерой. Затем с помощью программного продукта ГИС MapInfo Professional измерялись морфометрические показатели листовой пластинки (рис. 2): площадь, периметр, длина, ширина листа и длина черешка [8–13].

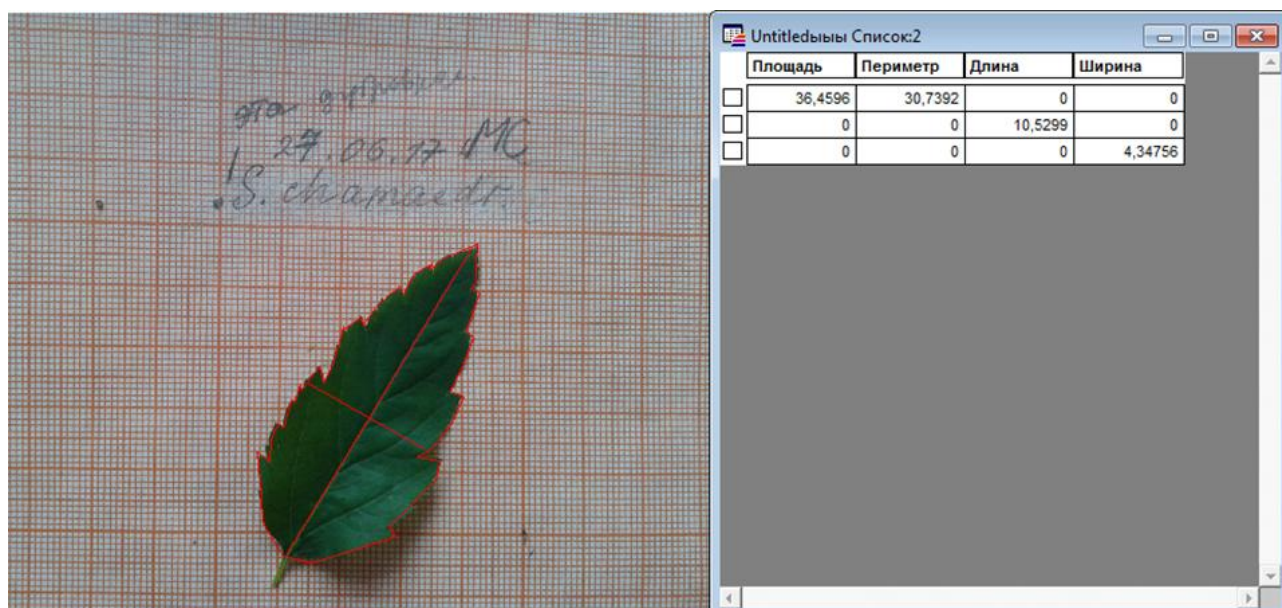


Рис. 2. Измерение морфологических параметров с помощью программного продукта ГИС MapInfo Professional

Одним из подходов к анализу стабильности системы морфологических признаков является метод определения флуктуирующей асимметрии. Для каждой листовой пластинки измерялись четыре стандартных метрических показателя (рис. 3).

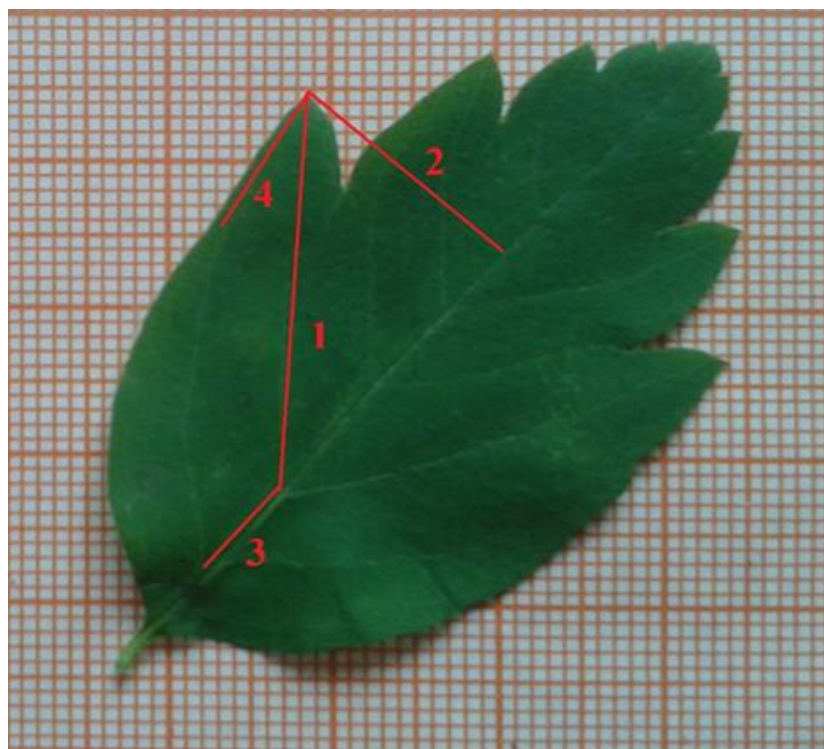


Рис. 3. Измерение флуктуирующей асимметрии листа

Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии (FA) комплекса морфологических признаков листовой пластинки рассчитывался по общепринятой формуле с использованием алгоритма нормированной разности [2, 14–24]. Для определения качества урбанизированной среды использовалась шкала стабильности развития, представленная в табл. 1.

Таблица 1

Шкала оценки стабильности развития [25]

Значение FA	Стабильность развития, балл	Качество среды
$FA < 0,100$	1	норма
$0,100 < FA < 0,119$	2	переход от нормы к загрязнению
$0,120 < FA < 0,139$	3	загрязнение
$0,140 < FA < 0,159$	4	сильное загрязнение
$FA > 0,159$	5	критическое загрязнение

Полученные данные обработаны методами вариационной статистики с использованием пакетов прикладных статистических программ Excel и Statistica. Для выявления значимости результатов использовался непараметрический критерий Манна – Уитни (U) при уровне значимости  $p \leq 0,05$ .

### Результаты

Сравнительный анализ морфометрических показателей выявил, что в зависимости от вида площадь и периметр листовой пластинки изучаемых растений в городской посадке меньше, чем в контроле, в 1,1–1,9 раза, длина и ширина листа – в 1,1–1,7 раз (рис. 4, 5). При этом статистически значимые различия отмечены для всех параметров, за исключением «площади» у сирени ‘Надежда’; «периметра» у сирени ‘Надежда’ и ‘Олимпиада Колесникова’; «длина листа» у трех сортов сирени; «ширина листа» у сирени ‘Надежда’; «длина черешка» – у трех видов сирени и *S. media*. Выявлено, что у растений из городских условий снижается длина черешка по сравнению с контролем, кроме растений *S. media*. Сравнительный анализ формы листа у растений из городской посадки и контроля не выявил существенных различий, за исключением сирени сорта ‘Надежда’. Так, величина отношения длина/ширина листа у растений видов рода спирея и у сирени сортов ‘Олимпиада Колесникова’ и ‘Память о Кирове’ вне зависимости от уровня загрязнения постоянна и равняется 2 и 1 соответственно. У сорта ‘Надежда’ эта величина изменяется в 2 раза – в городских условиях составляет 2, в контроле – 1 (табл. 2).



Рис. 4. Листовые пластинки *Syringa vulgaris* св. 'Надежда' из городских условий («Мемориал Славы») и контроля (дендрарий ЦСБС) (фото Е. М. Лях)

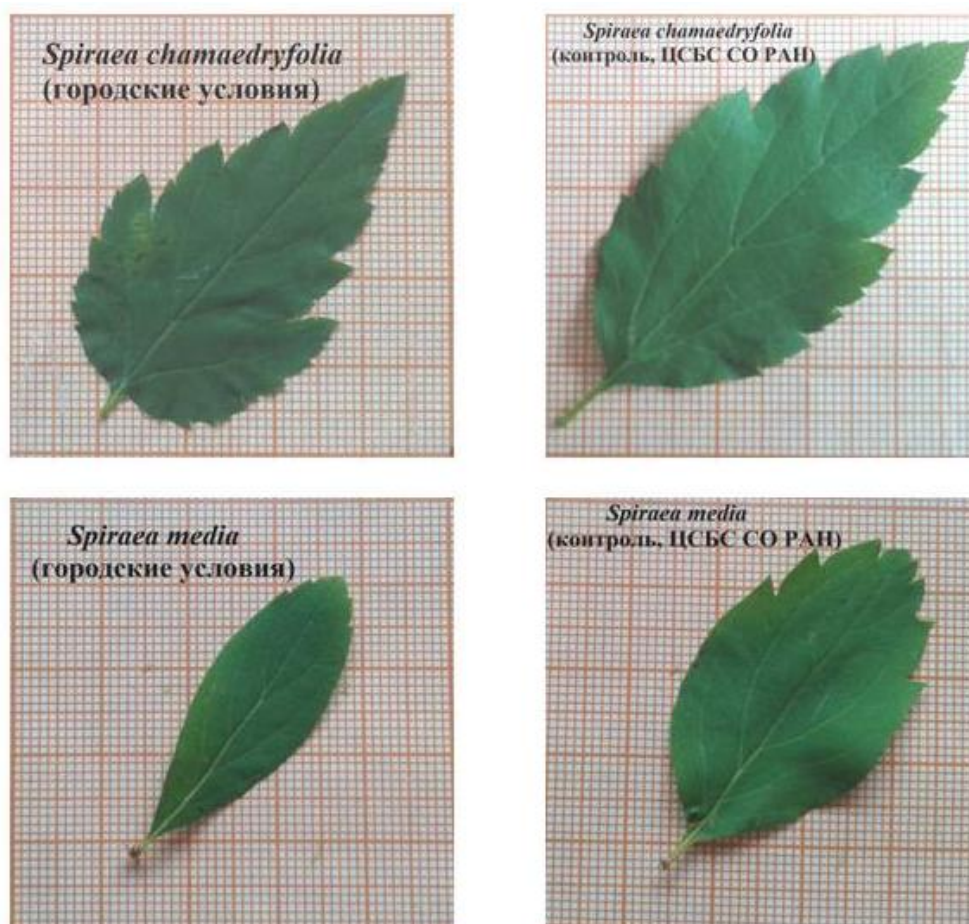


Рис. 5. Листовые пластинки *Spiraea chamaedryfolia* и *Spiraea media* из городских условий («Мемориал Славы») и контроля (дендрарий ЦСБС)

Таблица 2

Морфометрические показатели листовой пластинки видов р. *Spiraea* и сортов *Syringa vulgaris* в городских условиях и контроле

Вид растения	Площадь листа	Периметр листа	Длина листа	Ширина листа	Длина/ширина листа	Длина черешка
Городская посадка (Ленинский район)						
<i>Spiraea chamaedryfolia</i>	700 ± 333*	120 ± 32	43 ± 11	22 ± 6	2	4 ± 2
<i>Spiraea media</i>	562 ± 127	106 ± 15	41 ± 3	18 ± 3	2	4 ± 1**
<i>Syringa vulgaris</i> св. 'Надежда'	2 635 ± 1206**	191 ± 65**	108 ± 61**	50 ± 13**	2	21 ± 4**
<i>Syringa vulgaris</i> св. 'Олимпиада Колесникова'	2 740 ± 417	196 ± 49**	78 ± 12**	53 ± 11	1	20 ± 4**
<i>Syringa vulgaris</i> св. 'Память о Кирове'	3 246 ± 61	21 ± 27	78 ± 9**	58 ± 7	1	20 ± 2**
Контроль (интродукционный участок ЦСБС)						
<i>Spiraea chamaedryfolia</i>	1 197 ± 212	166 ± 15	60 ± 7	29 ± 2	2	5 ± 1
<i>Spiraea media</i>	1 049 ± 218	160 ± 20	54 ± 4	28 ± 4	2	4 ± 1**
<i>Syringa vulgaris</i> св. 'Надежда'	2 921 ± 6 871	201 ± 391	79 ± 111	58 ± 63	1	22 ± 25
<i>Syringa vulgaris</i> св. 'Олимпиада Колесникова'	5 136 ± 580	257 ± 251	86 ± 91	72 ± 6	1	24 ± 21
<i>Syringa vulgaris</i> св. 'Память о Кирове'	4 869 ± 573	247 ± 20	88 ± 71	69 ± 6	1	23 ± 21

\* Среднее значение ± стандартное отклонение.

\*\* Различия от контроля статистически не значимы при  $p \leq 0,05$ .

В качестве меры изменчивости использовался коэффициент вариации (CV), его оценка проводилась по шкале уровней изменчивости, предложенной С. А. Мамаевым [26]. Уровень изменчивости считается очень низким при  $CV \leq 7\%$ , низким при  $CV = 8-12\%$ , средним при  $CV = 13-20\%$ , высоким при  $CV = 21-40\%$  и очень высоким при  $CV > 40\%$ . Анализ изменчивости показал, что морфометрические признаки варьируются у растений из городских условий и контроля от среднего до очень высокого (табл. 3). Низкий уровень изменчивости отмечен для таких признаков, как «длина листа» в городских условиях у *S. media*, в контроле – «длина листа» у *S. chamaedryfolia*; «ширина листа» у сирени 'Память о Кирове'; «длина черешка» – у сирени 'Память о Кирове' и 'Олимпиада Колесникова'.

Таблица 3

Значения коэффициента вариации морфометрических признаков  
листовой пластинки видов р. *Spiraea* и сортов *Syringa vulgaris*

Вид растения	Площадь листа	Периметр листа	Длина листа	Ширина листа	Длина черешка
Городская посадка (Ленинский район)					
<i>Spiraea chamaedryfolia</i>	48	27	26	27	50
<i>Spiraea media</i>	23	14	7	17	25
<i>Syringa vulgaris</i> cv. 'Надежда'	46	34	56	27	19
<i>Syringa vulgaris</i> cv. 'Олимпиада Ко- лесникова'	15	25	16	20	17
<i>Syringa vulgaris</i> cv. 'Память о Кирове'	14	13	11	13	10
Контроль (ЦСБС)					
<i>Spiraea chamaedryfolia</i>	18	9	12	7	20
<i>Spiraea media</i>	21	13	7	14	25
<i>Syringa vulgaris</i> cv. 'Надежда'	23	20	14	10	10
<i>Syringa vulgaris</i> cv. 'Олимпиада Ко- лесникова'	11	10	10	9	7
<i>Syringa vulgaris</i> cv. 'Память о Кирове'	12	10	7	9	7

Расчет показателя флуктуирующей асимметрии (ФА) листовой пластинки у всех изучаемых видов растений показал, что в условиях транспортно-промышленного загрязнения его значение выше, чем в контроле (рис. 6).

Из полученных данных следует, что в городских условиях практически у всех изучаемых растений показатель ФА оценивается в 5 баллов, что свидетельствует о критическом загрязнении окружающей среды, за исключением сорта сирени 'Память о Кирове', ФА которого соответствует 2 баллам и характеризуется как переход от нормы к загрязнению. В контроле значение показателя ФА листовой пластинки представителей спиреи и сирени сорта 'Память о Кирове' равняется 1 баллу, что принимается как норма. Значение ФА листовой пластинки у двух других сортов сирени 'Надежда' и 'Олимпиада Колесникова' соответствует 2 баллам, что означает переход от нормы к загрязнению. Скорее всего, это связано с тем, что растения этих сортов произрастают на партере ЦСБС вблизи проезжего полотна дороги и таким образом реагируют на загрязнения от автотранспорта.



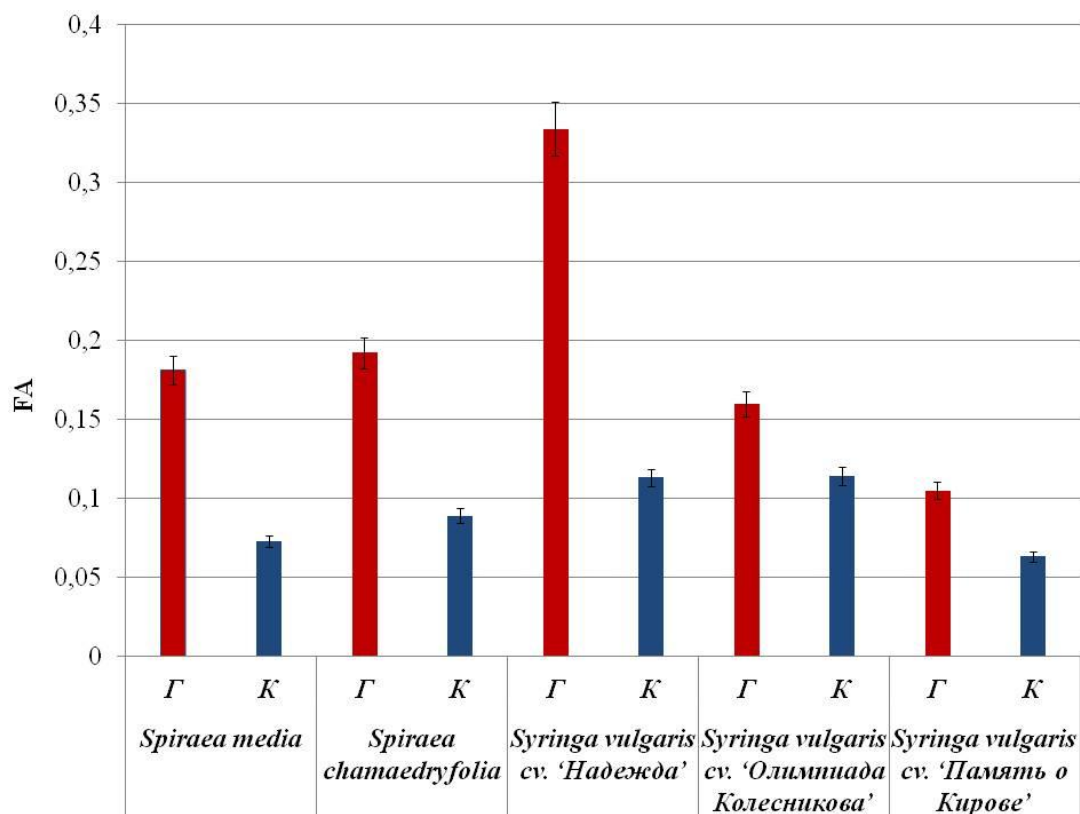


Рис. 6. Показатели флуктуирующей асимметрии листа видов р. *Spiraea* и сортов *Syringa vulgaris*

Наиболее устойчивы к загрязнению растения сорта 'Память о Кирове' и могут быть рекомендованы для широкого использования в зеленом строительстве (см. рис. 1).

### Заключение

В результате проведенного исследования показано, что в ответ на транспортно-промышленное загрязнение наблюдается сокращение морфометрических параметров листовой пластинки всех исследованных таксонов, что свидетельствует об ответной реакции на техногенный стресс. Установлено, что в городских условиях показатель флуктуирующей асимметрии листовой пластинки практически всех исследуемых растений равен 5 баллам и соответствует критическому уровню загрязнения, за исключением сорта 'Память о Кирове', а в контроле FA составляет 1–2 балла, что расценивается как благоприятное состояние окружающей среды. При этом растения сорта 'Память о Кирове' показали устойчивость к антропогенному воздействию. В качестве биоиндикаторов загрязнения окружающей среды могут быть рекомендованы спирея средняя, спирея дубравколистная и два сорта сирени обыкновенной 'Надежда' и 'Олимпиада Колесникова'.

В статье использовались материалы «Биоресурсной коллекции ЦСБС СО РАН», УНУ «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте», USU\_440534.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2018 году. – Новосибирск, 2018. – 141 с.
2. Здоровье среды: практика оценки / В. М. Захаров, А. Т. Чубинишвили, С. Г. Дмитриев, А. С. Баранов. – М. : Центр экологической политики России, 2000. – 320 с.
3. Захаров В. М. Асимметрия животных. – М. : Наука, 1987. – 216 с.
4. Константинов Е. Л., Стрельцов А. Б. Биомониторинг – новый метод оценки здоровья среды для целей управления // Инновационное развитие: достижения ученых Калужской области для народного хозяйства : тез. докл. – Обнинск, 1999. – С. 203–205.
5. Федорова А. И. Биоиндикация загрязнения городской среды // Изв. РАН. Серия География. – 2002. – № 1. – С. 72–80.
6. Мануйлов И. М., Багдасарян А. С. Использование растительных тест-объектов для изучения влияния недифференцированных мутагенов // Материалы межрегиональной научно-практической конференции «Образование, здоровье и культура в начале XXI века». – Ставрополь, 2004. – С. 100–102.
7. Карпова Е. А., Храмова Е. П. Состав и содержание фенольных соединений представителей рода *Spiraea* L. в условиях техногенного загрязнения г. Новосибирска // Сибирский экологический журнал. – 2014. – Т. 2. – С. 283–293.
8. Трубина Л. К. Стереомодели в изучении биологических объектов. – Новосибирск : СГГА, 2006. – 136 с.
9. Луговская А. Ю., Храмова Е. П., Трубина Л. К. Оценка влияния транспортно-промышленного загрязнения на морфологические и биохимические показатели *Potentilla fruticosa* (*Rosaceae*) // Растительный мир Азиатской России. – 2014. – № 1 (13). – С. 71–77.
10. Трубина Л. К., Храмова Е. П., Луговская А. Ю. Компьютерный анализ изображений листовых пластин *Potentilla fruticosa* для биоиндикации урбанизированных территорий // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 4 (36). – С. 263–273.
11. Луговская А. Ю., Храмова Е. П., Чанкина О. В. Влияние транспортно-промышленного загрязнения на морфометрические параметры и элементный состав *Potentilla fruticosa* // Сибирский экологический журнал. – 2018. – Т. 25. № 1. – С. 111–121.
12. Храмова Е. П., Тарасов О. В., Трубина Л. К. Использование метода компьютерного анализа изображений в ботанических исследованиях // ГЕО-Сибирь-2008. IV Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 5 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2008 г.). – Новосибирск : СГГА, 2008. Т. 2, ч. 5. – С. 3–7.
13. Трубина Л. К., Храмова Е. П., Луговская А. Ю. Оценка качества окружающей среды урбанизированных территории по величине флуктуирующей асимметрии листа // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зонирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 2. – С. 160–163.
14. Fluctuating Asymmetry of Plant Leaves: Batch Processing with LAMINA and Continuous Symmetry Measures / John H. Graham, Mattie J. Whitesell, Mark Fleming II, Hagit Hel-Or, Eviatar Nevo and Shmuel Raz // Symmetry. – 2015. – Vol. 7 (1). – P. 255–268.
15. Franiel I. Fluctuating asymmetry of *Betula pendula* Roth. leaves – an index of environment quality // Biodiv. Res. Conserv. – 2008. – Vol. 9–10. – P. 7–10.
16. Freeman D. C., Graham J. H., Tracy M. Developmental instability as a means of assessing stress in plants: A case study using electromagnetic fields and soybeans // J. Plant Sci. – 1999. – Vol. 160, No. 6. – P. 157–166.

17. Developmental plasticity, morphological variation and evolvability: a multilevel analysis of morphometric integration in the shape of compound leaves / C. P. Klingenberg, S. Duttke, S. Whelan, M. Kim // *Journal of evolutionary biology*. – 2012. – Vol. 25, No. 1. – P. 115–129.
18. Leung B., Forbes N. R., Ioualc D. Fluctuating asymmetry as a bioindicator of stress: comparing efficacy of analyses involving multiple traits // *The American naturalist*. – 2000. – Vol. 155, No 1. – P. 101–115.
19. Lu G. Q., Bernatchez L. A study of fluctuating asymmetry in hybrids of dwarf and normal lake whitefish ecotypes (*Coregonus clupeaformis*) from different glacial races // *Heredity*. – 1999. – P. 742–747.
20. Moller A. P. Leaf-Mining Insects and Fluctuating Asymmetry in Elm *Ulmus -Glabra* Leaves // *Journal of animal ecology*. – 1995. – Vol. 64. – P. 697–707.
21. New T. Exploring the boundaries of environmental stress and fluctuating asymmetry: is *Eumantispia* (Neuroptera: Mantispidae) exceptional // *Journal of Insect Conservation*. – 1998. – Vol. 2. – P. 95–97.
22. Palmer A. R., Strobeck C. Fluctuating asymmetry analysis revisited // *Developmental instability (DI): causes and consequences* / M. Polak, ed. – New York, 2003.
23. Handy S. M., McBreen K., Cruzan M. B. Patterns of fitness and fluctuating asymmetry across a broad hybrid zone // *Int. J. Plant Sci.* – 2004. – Vol. 165 (6). – P. 973–981.
24. Хузина Г. Р. Характеристика флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листа липы мелколистной (*Tilia cordata* L.) // *Вестн. Удмуртского ун-та*. – 2011. – Вып. 3. – С. 47–52.
25. Кузнецов М. Н., Гольшкин Л. В. Сравнительная характеристика особенности флуктуирующей асимметрии листьев яблони в разных экологических условиях // *Сельскохозяйственная биология*. – 2008. – № 3. – С. 72–77.
26. Мамаев С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере сем. *Pinaceae* на Урале). – М. : Наука, 1975. – 284 с.

Получено 13.01.2020

© А. Ю. Луговская, Е. П. Храмова, Е. М. Лях, Е. А. Карпова, 2020

## USE OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES FOR BIOINDICATIONS OF URBAN TERRITORIES

### *Anna Yu. Lugovskaya*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Senior Lecturer, Department of Ecology and Environmental Management, phone: (383)361-08-86, e-mail: aulyg@mail.ru

### *Elena P. Khramova*

Central Siberian Botanical Garden SB RAS, 101, Zolotodolinskaya St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., phone: (383)339-98-17, e-mail: khramova@ngs.ru

### *Elena M. Lyakh*

Central Siberian Botanical Garden SB RAS, 101, Zolotodolinskaya St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Senior Researcher, phone: (383)339-98-17, e-mail: llyakh@rambler.ru

### *Eugene A. Karpova*

Central Siberian Botanical Garden SB RAS, 101, Zolotodolinskaya St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Senior Researcher, phone: (383)339-98-17, e-mail: karyevg@mail.ru

The article presents the results of a study of changes in the morphological parameters of the leaf of shrubs of the genera *Spiraea* L. and *Syringa* L., growing in conditions of transport and industrial pollution in the city of Novosibirsk. The morphological indicators of the leaf were determined on the basis of computer analysis of their digital images by means of GIS. It is established that plants of the genera *Spiraea* and *Syringa* in response to anthropogenic impact demonstrate a reaction consisting of reducing the size of assimilating organs, increasing in the value of the fluctuating asymmetry of the leaf compared to the background plants. It is shown that the environmental quality of the urbanized territory in terms of the fluctuating asymmetry of the leaf corresponds to a high level of pollution, and the background to a low level. As a bioindicator of environmental pollution *Spiraea* average, *Spiraea* oak and two varieties of common lilac 'Hope' and 'Kolesnikov Olympiad' can be recommended.

**Key words:** geoinformation technology, transport and industrial pollution, bioindication, *Spiraea*, *Syringa*, morphometric indicators, computer analysis method, fluctuating asymmetry, lamina.

## REFERENCES

1. State report on the state and environmental protection of the Novosibirsk region in 2018. (2018). Novosibirsk [in Russian].
2. Zakharov, V. M., Baranov, A. S., Borisov, V. I., Valetskiy, A. V., Kryazheva, N. G., Chistyakova, E. K., & Chubinishvili, A. T. (2000). *Zdorove sredy: metodika otsenki [Health of environment: methods of assessment]*. Moscow: Environmental Policy Center of Russia Publ. [in Russian].
3. Zakharov, V. M. (1987). *Asimmetriya zhivotnykh [Asymmetry of animals]*. Moscow: Nauka Publ. [in Russian].
4. Konstantinov, E. L., & Streltsov, A. B. (1999). Biomonitoring new method of assessing the health of the environment for management purposes (pp. 203–205). In *Tezisy dokladov: Innovatsionnoe razvitiye: dostizheniya uchenykh Kaluzhskoy oblasti dlya narodnogo khozyaystva [Abstracts: Innovative Development: Achievements of Kaluga Region Scientists for the National Economy]*. Obninsk [in Russian].
5. Fedorova, A. I. (2002). Bioindication of pollution in the urban environment. *Izv. RAS. Geography series. [Izv. RAS. Geography series]*, 1, 72–80 [in Russian].
6. Manuilov, I. M., & Bagdasaryan, A. S. (2004). Using plant test objects to study the effects of undifferentiated mutagens. In *Sbornik Materialov mezhhregional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Obrazovanie, zdorov'e i kul'tura v nachale XXI veka [Proceedings of the interregional scientific-practical conference "Education, health and culture at the beginning of the XXI century"]* (pp. 100–102). Stavropol [in Russian].
7. Karpova, E. A., & Khramova, E. P. (2014). The composition and content of phenolic compounds of the representatives of the genus *Spiraea* L. in the conditions of technogenic pollution of the city of Novosibirsk. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal [Siberian Journal of Ecology]*, 2, 283–293 [in Russian].
8. Trubina, L. K. (2006). *Stereomodeli v izuchenii biologicheskikh obektov [The stereomodel in the study of biological objects]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 136 p. [in Russian].
9. Lugovskaya, A. Yu., Khramova, E. P., Trubina, L. K. (2014). Evaluation of the influence of transport – industrial pollution on the morphological and biochemical parameters of *Potentilla fruticosa* (Rosaceae). *Rastitel'nyy mir Aziatskoy Rossii [The Plant World of Asiatic Russia]*, 1(13), 71–77 [in Russian].
10. Trubina, L. K., Khramova, E. P., & Lugovskaya, A. Yu. (2016). Computer analysis of images of *Potentilla fruticosa* leaf plates for bioindication of urbanized areas. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 4(36), 263–273 [in Russian].

11. Lugovskaya, A. Yu., Khramova, E. P., & Chankina, O. V. (2018). Influence of transport and industrial pollution on morphometric parameters and elemental composition of *Potentilla fruticosa*. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal [Siberian Journal of Ecology]*, 25(1), 111–121 [in Russian].
12. Khramova, E. P., Tarasov, O. V., & Trubina, L. K. (2008). Using the method of computer image analysis in botanical research. In *Sbornik materialov GEO-Sibir'-2008: T. 2, ch. 5 [Proceedings of GEO-Siberia-2008: Vol. 2, Part 5]* (pp. 3–7). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
13. Trubina, L. K., Khramova, E. P., & Lugovskaya, A. Yu. (2013). Environmental quality assessment of urbanized areas by the magnitude of fluctuating leaf asymmetry. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 2. Distantionnye metody zonirovaniya Zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchey sredy, geoekologiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2013: International Scientific Conference: Vol. 2. Remote Methods of Zoning the Earth and Photogrammetry, Environmental Monitoring, Geoecology]* (pp. 160–163). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
14. Graham, J. H., Whitesell, M. J., Fleming II, M., Hel-Or, H., Nevo, E., & Raz, S. (2015). Fluctuating Asymmetry of Plant Leaves: Batch Processing with LAMINA and Continuous Symmetry Measures. *Symmetry*, 7(1), 255–268.
15. Franiel, I. (2008). Fluctuating asymmetry of *Betula pendula* Roth. leaves – an index of environment quality. *Biodiv. Res. Conserv.*, 9–10, 7–10.
16. Freeman, D. C., Graham, J. H., & Tracy M. (1999). Developmental instability as a means of assessing stress in plants: A case study using electromagnetic fields and soybeans. *J. Plant Sci.*, 160(6), 157–166.
17. Klingenberg, C. P., Duttke, S., Whelan, S., & Kim, M. (2012). Developmental plasticity, morphological variation and evolvability: a multilevel analysis of morphometric integration in the shape of compound leaves. *Journal of Evolutionary Biology*, 25(1), 115–129.
18. Leung, B., Forbes, N. R., & Iloulc, D. (2000). Fluctuating asymmetry as a bioindicator of stress: comparing efficacy of analyses involving multiple traits. *The American Naturalist*, 155(1), 101–115.
19. Lu, G. Q., & Bernatchez, L. (1999). A study of fluctuating asymmetry in hybrids of dwarf and normal lake whitefish ecotypes (*Coregonus clupeaformis*) from different glacial races. *Heredity*, 742–747.
20. Moller, A. P. (1995). Leaf-Mining Insects and Fluctuating Asymmetry in Elm *Ulmus - Glabra* Leaves. *Journal of Animal Ecology*, 64, 697–707.
21. New, T. (1998). Exploring the boundaries of environmental stress and fluctuating asymmetry: is *Eumantispa* (Neuroptera: Mantispidae) exceptional. *Journal of Insect Conservation*, 2, 95–97.
22. Palmer, A. R., & Strobeck, C. (2003). Fluctuating asymmetry analysis revisited / A. R. Palmer. In *Developmental instability (DI): causes and consequences*. M. Polak (Ed.). New York.
23. Handy, S. M., McBreen, K., & Cruzan, M. B. (2004). Patterns of fitness and fluctuating asymmetry across a broad hybrid zone. *Int. J. Plant Sci.*, 165(6), 973–981.
24. Khuzin, G. R. (2011). Characteristics of the fluctuating asymmetry of the bilateral signs of a leaf of a small-leaved linden tree (*Tilia cordata* L.). *Vestnik Univ[rsiteta [Bulletin of University]*, 3, 7–52 [in Russian].
25. Kuznetsov, M. N., & Golyshkin, L. V. (2008). Comparative characteristics of the characteristic of fluctuating asymmetry of apple leaves in different environmental conditions. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 3, 72 – 77 [in Russian].
26. Mamaev, S. A. (1975). Formy` vnutrividovoj izmenchivosti drevesny`x rastenij (na primere sem. Pinaceae na Urale) [Forms of intraspecific variability of woody plants (for example, SEM. Pinaceae in the Urals)]. Moscow: Nauka [in Russian].

Received 13.01.2020

© A. Yu. Lugovskaya, E. P. Khramova, E. M. Lyakh, E. A. Karpova, 2020