

Р.М. Кулахметов, Д.И. Башмаков

ФЛУКТУИРУЮЩАЯ АСИММЕТРИЯ ЛИСТЬЕВ КЛЕНА АМЕРИКАНСКОГО В УСЛОВИЯХ Г. РУЗАЕВКИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева»

В работе приведены данные о варьировании величин морфометрических индексов (флуктуирующая асимметрия и индекс ксероморфизма) листьев *Acer negundo* L. под влиянием антропогенных и природных факторов в условиях крупного транспортного узла с развивающейся промышленностью (г. Рузаевка, Россия). По результатам исследований, клен американский находится в условиях от умеренного до крайне неблагоприятного воздействия среды. Преимущественное влияние на варьирование рассчитанных биоиндикационных показателей оказывали антропогенные факторы, а детерминирующими были (в порядке возрастания значимости): загрязнение почв свинцом, экспозиция склона и общая металлическая нагрузка на почвы.

Ключевые слова: *Acer negundo* L., флуктуирующая асимметрия, индекс ксероморфизма, антропогенные факторы, тяжелые металлы

Введение

В настоящее время в России *Acer negundo* L. (клен американский, или ясенелистный) – крайне широко распространенный инвазионный вид, натурализовавшийся интродуцент, представляющий угрозу биологическому разнообразию, вытесняющий аборигенные виды и ухудшающий кормовую базу животных. В связи с очень высокой экологической пластичностью этот вид является одним из самых агрессивных древесных сорняков в лесной зоне Евразии [1]. Без научной базы и тщательно спланированной координации усилий клен американский традиционными способами неистребим. Данное исследование позволит внести вклад в изучение факторов городской среды, вносящих наиболее существенное влияние на этот агрессивный сорняк в условиях Средней полосы России.

Цель и задачи исследований

Цель работы – определить наиболее значимые антропогенные и природные факторы окружающей среды, оказывающие влияние на состояние *Acer negundo* L. в условиях крупного транс-

портного узла с развивающейся промышленностью. В задачи исследования входил анализ показателей флуктуирующей асимметрии и индекса ксероморфизма листьев клена американского, произрастающего в неодинаковых природных условиях с различной степенью антропогенной нагрузки.

Материал и методики исследований

Город Рузаевка – часть Саранско-Рузаевской городской агломерации, второй по величине город в Республике Мордовия – является крупным транспортным узлом с развивающейся промышленностью (химическая, легкая, пищевая промышленность и машиностроение) [2]. Карта-схема города с локализациями пробных площадок представлены на рисунке 1. Характеристики каждой станции по грациям исследованных факторов приведены в таблице 1.

Флуктуирующая асимметрия (ФА) – один из распространенных биоиндикационных показателей, характеризующих нарушения роста и развития организма под влиянием неблагоприятных

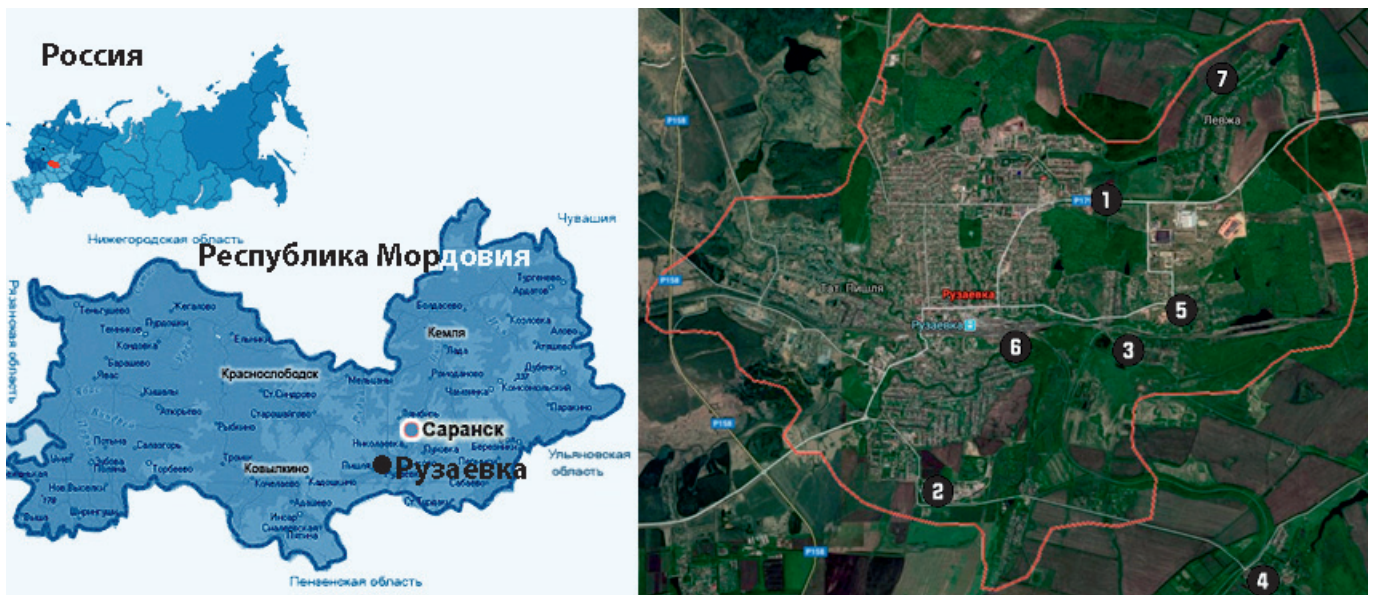


Рис. 1. Локализация пробных площадок в г. Рузаевка, Республика Мордовия: 1 – Автоколонна, 2 – Рузаевка, 3 – Красный Клин, 4 – Плодопитомнический, 5 – Надеждинка, 6 – Военкомат, 7 – Левжа

Fig. 1. Localization of sampling sites in the town of Ruzaevka, Mordovia Republic: 1 – Avtokolonna, 2 – Ruzaevka, 3 – Krasnyy Klin, 4 – Plodopitomnicheskiiy, 5 – Nadezhdinka, 6 – Voenkomat, 7 – Levzha

Таблица 1. Характеристики условий среды на пробных площадках

Место сбора образцов	Геохимический тип ландшафта	Тип почвы	Экспозиция склона	Крутизна склона	Функциональная зона города	Расстояние от дороги	Интенсивность движения	Концентрация ТМ в почвах, мг/кг				Σ Кодк ТМ
								Pb	Zn	Cu	Ni	
Автоколонна	Э	ТСЛ	В	ПК	ПЗ	ВЗ	О	40,5	92,3	28,0	28,1	3,1
Рузаевка	ТЭ	ЧВ	З	ПЛ	СМ	СЗ	СИ	34,5	146,4	12,3	36,9	3,3
Красный Клин	СА	ПА	В	ПЛ	СМ	П	Р	19,6	264,5	33,6	38,1	4,4
Плодопитомнический	СА	ЧВ	З	ПК	ПрЗ	П	СИ	23,8	137,8	29,9	33,1	3,1
Надеждинка	ТЭ	ТСЛ	Ю	ПК	СМ	П	Р	16,4	187,3	29,0	21,4	3,2
Военкомат	СА	ПА	Ю	ПЛ	ПрЗ	П	ДО	29,8	83,2	48,7	21,2	3,0
Левжа	ТЭ	ЧВ	С	ПК	СМ	СФ	Р	16,0	80,4	29,2	33,3	2,3

Примечание: Геохимический тип ландшафта: Э – элювиальный (плакорные области), ТЭ – трансэлювиальный (склоны), СА – супераквальный (пониженные и пойменные участки); тип почвы: ПА – пойменная аллювиальная, ТСЛ – темно-серая лесная, ЧВ – чернозем выщелоченный; экспозиция склона: С – северный, В – восточный, Ю – южный, З – западный; крутизна склона: ПЛ – пологие (от 0,5° до 2°), ПК – покатые (от 2° до 5°); функциональная зона города: ПЗ – промзона, СМ – селитебная зона с малоэтажной застройкой, ПрЗ – пригородная зона; расстояние от дороги: ВЗ – возрастание загрязнения (от 1 до 2 м), П – пик загрязнения (от 5 до 10 м), СЗ – спад загрязнения (от 10 до 50 м), СФ – субфоновое загрязнение (от 50 до 100 м); интенсивность движения: ДО – автомобильное движение отсутствует, Р – редкое (менее 50 автомобилей за 1 час), СИ – движение средней интенсивности (от 50 до 500 автомобилей за 1 час), О – оживленное (более 500 автомобилей за 1 час); ТМ – тяжелые металлы; Кодк ТМ – коэффициент загрязнения почв тяжелыми металлами (ОДК – ориентировочно допустимая концентрация)

факторов среды [6, 7]. Поскольку листовые пластинки мезофильных видов (в том числе видов рода *Acer* L.) очень чувствительны к антропогенным и иным неблагоприятным нагрузкам [4], помимо ФА, мы исследовали варьирование величины индекса ксероморфизма (ИК), представляю-

щего собой отношения длины и ширины верхней непарной лопасти сложного листа *A. negundo* (рис. 2).

Листья клена американского собирали по стандартной методике в середине вегетационного периода 2018 г. в станциях, различающихся по

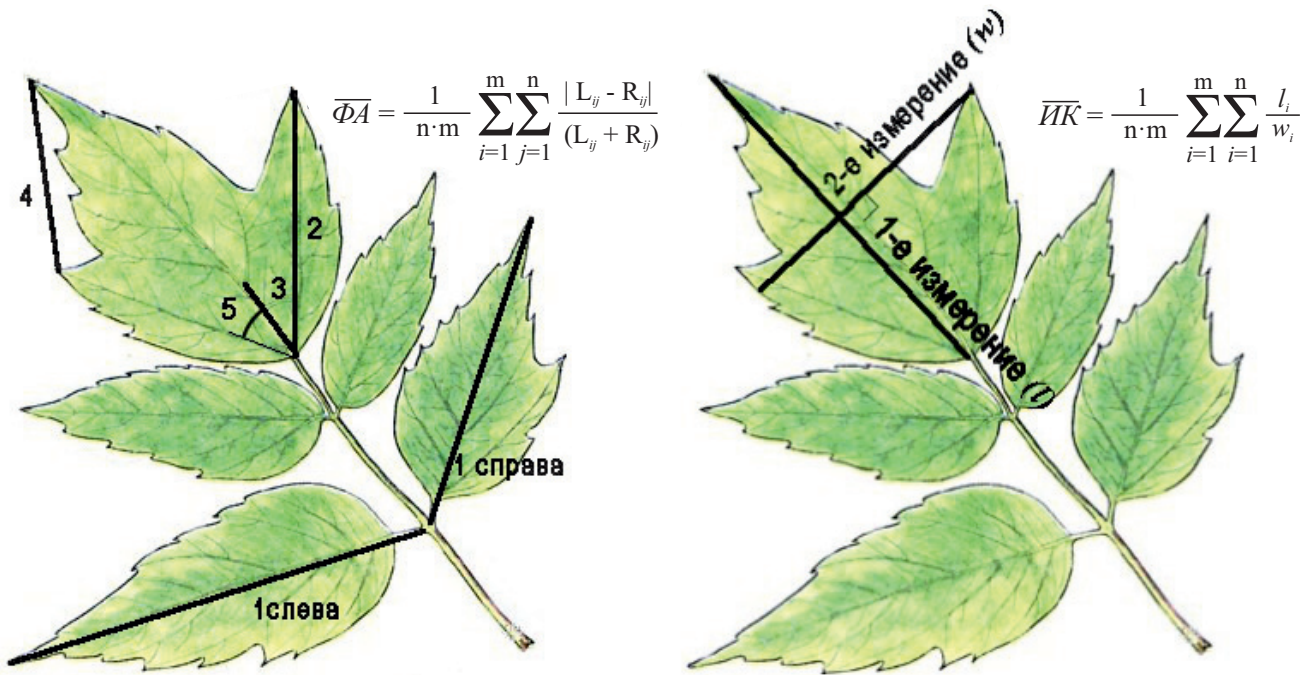


Рис. 2. Схемы измерения параметров листа *A. negundo* L. и формулы расчета ФА и ИК. Значения усредняли по каждому дереву (n) и по станции в целом (m)

Fig. 2. Leaf measurement schemes of *A. negundo* L. and formulas for calculating fluctuating asymmetry and xeromorphism index. Values were averaged for each tree (n) and habitats in general (m)

величине антропогенной нагрузки и находящихся в неодинаковых природных условиях. Схемы и формулы, измерения параметров листа для определения величины ФА и ИК представлены на рисунке 2. Различия средних значений морфологических индексов по каждой станции оценивали по методу Дункана при $P=0,05$. Оценку качества среды производили по методу, предложенному Г.Р. Хикматуллиной [7] и Д.Б. Гелашвили [3]. Классификацию станций по величине морфологических индексов методом Варда проводили в программе Statistica. Выделение значимых факторов среды осуществляли многофакторным дисперсионным анализом (MANOVA) в программе MS Excel.

Результаты исследований и их обсуждение

Полученные данные свидетельствуют о том, что в условиях г. Рузаевки качество среды для клена американского находилось в пределах от умеренного влияния (на пробных площадках 3 и 7, расположенных в пригородной зоне) до очень неблагоприятного воздействия (пробные площадки 4 и 5).

Кластерный анализ, проведенный на основании величин рассчитанных индексов ФА и ИК

(данные не приведены) не дал результатов, которые можно было бы однозначно трактовать, поэтому для выявления императивных факторов среды, детерминирующих варьирование морфометрических индексов, был проведен многофакторный дисперсионный анализ (MANOVA). В таблице 3 отображена вероятность (P-значения) того, что все градации конкретного фактора будут одинаково влиять на величину ФА или ИК. Следовательно, чем меньше вероятность этого события, тем больший «вес» приобретает данный фактор. За императивные факторы принимались только те факторы, для которых P-значение не превышало 0,05.

Результаты MANOVA показали, что из всех характеристик биотопов на варьирование ФА не оказывает существенного влияния ни один из исследованных факторов среды, тогда как на варьирование ИК не влияют только крутизна склона и тип почвы. С максимальной вероятностью значения ИК детерминируют экспозиция склона и загрязнение почвы Pb. Усредненные по градиентам изученных факторов значения ФА и ИК представлены на рисунке 3.

Из рисунка 3 следует, что факторы среды оказывают незначительное воздействие на величину

Таблица 2. Морфометрические индексы листьев *A. negundo* L. в условиях г. Рузаевки

Порядковый номер и название пробной площадки	ФА, М±m	ИК, М±m	Категория качества среды
1 Автоколонна	0,062±0,004 a	1,59±0,03 a	IV (сильное воздействие)
2 Рузаевка	0,064±0,003 a	1,57±0,03 a	IV (сильное воздействие)
3 Красный Клин	0,055±0,007 a	1,70±0,03 a	III (умеренное воздействие)
4 Плодопитомнический	0,068±0,011 a	2,03±0,04 b	V (очень сильное воздействие)
5 Надеждинка	0,067±0,006 a	2,20±0,08 b	V (очень сильное воздействие)
6 Военкомат	0,063±0,006 a	2,16±0,14 b	IV (сильное воздействие)
7 Левжа	0,054±0,003 a	2,05±0,10 b	III (умеренное воздействие)

Примечание: М±m – среднее арифметическое ± ошибка среднего арифметического; буквы обозначают существенность различий средних по станции величин ФА и ИК, рассчитанную по методу Дункана при P=0,05

Таблица 3. Вероятность (Р-значение) принятия нулевой гипотезы о равнозначном влиянии всех градаций характеристик биотопа на варьирование величины биоиндикационных индексов листьев клена американского

Факторы среды		ФА	ИК
Природные	Геохимический тип ландшафта	0,995	0,041
	Экспозиция склона	0,327*	0,00002*
	Крутизна склона	0,630	0,119
	Тип почв	0,847	0,929
Антропогенные	Расстояние от дороги	0,464	0,005
	Функциональная зона города	0,592	0,005
	Интенсивность движения автотранспорта	0,671	0,005
	Загрязнение почвы свинцом ($K_{\text{ОДК Pb}}$)	0,788	0,00000611*
	Загрязнение почвы цинком ($K_{\text{ОДК Zn}}$)	0,487	0,035
	Общая металлическая нагрузка на почвы ($\Sigma K_{\text{ОДК TM}}$)	0,227*	0,018

Примечание: жирным шрифтом выделены императивные ($F > F_{\text{критическое}}$) факторы влияния на величину ФА и ИК; * – фактор, имеющий наибольшее влияние (отдельно по природным и антропогенным факторам) на варьирование ФА или ИК. Анализ по содержанию в почвах Cu и Ni не проводили, поскольку на исследованной территории загрязнение почв этими металлами не превышает значения ОДК

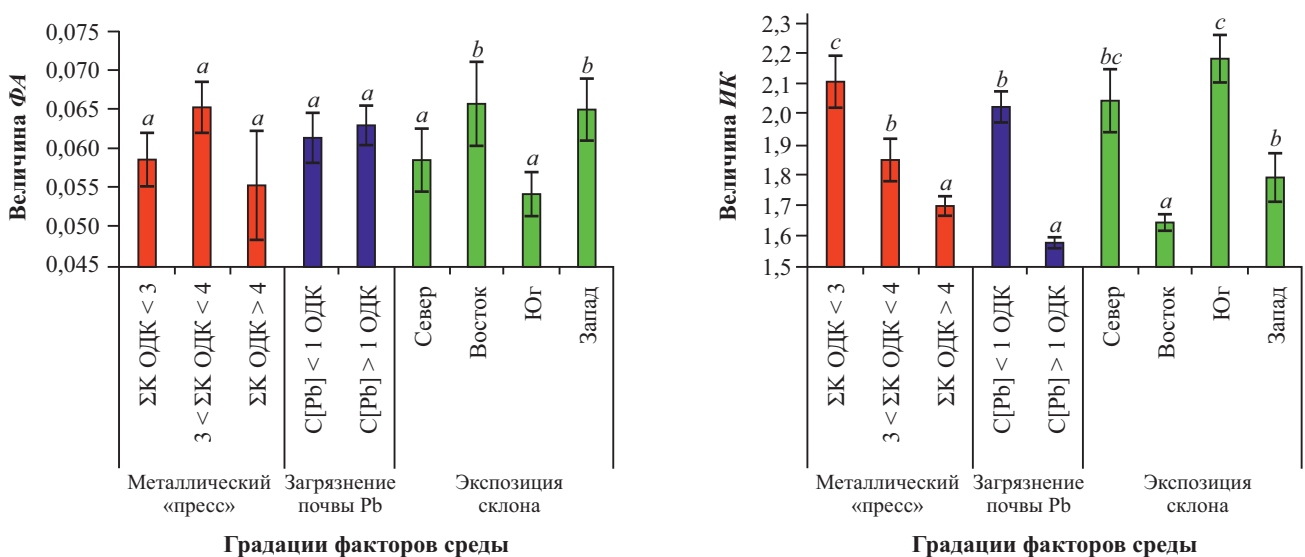
**Рис. 3.** Влияние факторов среды на величину ФА и ИК листьев *Acer negundo* L.

Fig. 3. The influence of environmental factors on the value of fluctuating asymmetry and xeromorphism index in leaves of *Acer negundo* L.

ФА. Значения ИК снижались как по мере повышения общей металлической нагрузки на почвы, так и с увеличением загрязнения верхних горизонтов почвы свинцом.

Выводы

В ходе исследования было выяснено, что факторы окружающей среды практически не влияют на варьирование значений флуктуирующей асимметрии листьев клена американского. О состоянии растений на пробных площадках целесообразнее судить по величине индексов ксероморфизма, которые имеют существенный отклик на градации загрязнения почвы свинцом и общую металлическую нагрузку на верхние горизонты почв.

1. *Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В.* Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М.: ГЕОС, 2009. 496 с.
2. *Всё о Мордовии: Энциклопедический справочник / сост. Н.С. Крутов, Е.М. Голубчик, С.С. Маркова.* Саранск: Мордовское книжное издательство, 2005. С. 292.
3. *Гелашвили Д.Б., Чупрунов Е.В., Иудин Д.И.* Структурные и биоиндикационные аспекты флуктуирующей асимметрии билатерально симметричных организмов // Журн. общ. биол. 2004. Т. 65, № 5. С. 433–441.
4. *Горьшина Т.К.* Экология растений. М.: Высшая школа, 1979. 368 с.
5. *Захаров В.М., Чубинишвили А.Т., Дмитриев С.Г. и др.* Здоровье среды: практика, оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 318 с.
6. *Захаров В.М., Зюганов В.В.* К оценке асимметрии билатеральных признаков как популяционной характеристики // Экология. 1980. № 1. С. 10–16.
7. *Хикматуллина Г.Р.* Сравнение морфологических признаков листа *Betula pendula* в условиях урбано-среды // Вестник Удмуртского университета. 2013. Вып. 2. С. 48–56.

Поступила в редакцию: 12.08.2019

UDC 58.02:581.45(470.345)

FLUCTUATING ASYMMETRY IN *ACER NEGUNDO* L. LEAVES UNDER THE CONDITIONS OF THE TOWN OF RUZAEVKA

R.M. Kulakhmetov, D.I. Bashmakov

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «National Research Ogarev Mordovia State University»

In the research we investigated variation of the morphometric indices (fluctuating asymmetry and xeromorphism index) in *Acer negundo* L. leaves under the impact of the environment conditions in the large transport hub and developing industrial locality (Ruzaevka, Russia). According to the results, in the studied area, *A. negundo* grew in environment conditions from medium to extremely unfavorable. It was found that anthropogenic factors had primary influence on the variation of the studied indexes. The determining factors were lead contamination of soil, slope orientation and the total metals impact on the topsoils.

Key words: *Acer negundo* L., fluctuating asymmetry, index of leaves xeromorphism, anthropogenic factors, heavy metals