

Оригинальная статья

Флуктуирующая асимметрия листа *Acer negundo* L. как индикатор состояния организма и качества городской среды

Г. В. Чудновская, О. В. Чернакова ✉

Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского,
г. Иркутск, Российская Федерация
✉ chernakova-o@list.ru

Аннотация

Анализируется выполнение *Acer negundo* L. защитной функции. Оцениваются показатели стабильности развития по флуктуирующей асимметрии листьев в зависимости от влияния антропогенных факторов. Материалами послужили данные, полученные с 25 учетных площадок, заложенных на участках, различающихся по степени воздействия автомобильного транспорта, в 2018–2021 годах в г. Иркутск. Величины показателей стабильности развития каждой учетной площадки определяли, как среднее коэффициентов флуктуирующей асимметрии по восьми учетным признакам собранных на них листьев. Их значения указывают на достаточную устойчивость *A. negundo* к антропогенным воздействиям, в частности, выбросам от автомобильного транспорта, в сравнении с другими видами фанерофитов, участвующих в озеленении на урбанизированной территории. Коэффициент средневзвешенных значений данного показателя между площадками с рекреационных зон и вдоль транспортных магистралей составляет 1,33. Коэффициент корреляции между величинами стабильности развития и расстоянием произрастания *A. negundo* от автомобильных дорог составил $r = -0,64 \pm 0,18$, что подтверждает среднюю связь между этими признаками. Стабильность развития деревьев по четырем классам интенсивности движения автомобильного транспорта (высокое, среднее, низкое и отсутствующее), оценена через корреляционное отношение, величина которого $\eta = 0,70$ демонстрирует высокий уровень связи. С целью ограничения внедрения *A. negundo* в местную флору можно рекомендовать постепенно проводить мероприятия по его удалению в парках, скверах, садах и придомовых территориях, с заменой на виды древесной растительности, хорошо приспособленные к произрастанию на данных местообитаниях.

Ключевые слова: *Acer negundo* L., Иркутск, урбанизированная территория, показатель стабильности развития, флуктуирующая асимметрия, влияние автомобильного транспорта, озеленение, эпикофит, листовая пластинка

Финансирование. Исследования выполнены в рамках темы «Мониторинг состояния животного и растительного мира Восточной Сибири» (рег. номер АААА-А17-117120640050-1), подтемы кафедры технологии в охотничьем и лесном хозяйстве Иркутского ГАУ «Совершенствование оценки биологических ресурсов и технологии производства в охотничьем и лесном хозяйстве Восточной Сибири».

Для цитирования: Чудновская Г.В., Чернакова О.В. Флуктуирующая асимметрия листа *Acer negundo* L. как индикатор состояния организма и качества городской среды. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2023;28(2):293–302. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-2-293-302>

Original article

Fluctuating asymmetry of the *Acer negundo* L. leaf: an indicator of its state and the quality of the urban environment

G. V. Chudnovskaya, O. V. Chernakova ✉

Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russian Federation
✉ chernakova-o@list.ru

Abstract

The purpose of this study was to analyze the protective function of *Acer negundo* L. by assessing the indicators of developmental stability by fluctuating leaf asymmetry depending on the value of the influence of anthropogenic factors. The materials were obtained from 25 test sites on areas that differed in the degree of road transport impact in 2018–2021 in Irkutsk. The values of the indicators of the developmental stability of each test site were determined as the average of the coefficients of fluctuating asymmetry, considering the eight characteristics of the leaves collected from them. These values indicate that *A. negundo* is sufficiently resistant to anthropogenic impacts, particularly the effects of emissions from road transport, compared with other types of phanerophytes involved in the landscaping of urbanized areas. The coefficient of weighted average of this indicator between sites in recreational areas and along highways was 1.33. The correlation coefficient between the values of development stability and the distance of growth of *A. negundo* from highways was $r = -0.64 \pm 0.18$, which confirms the average connection between these characteristics. Analysis of variance was used to assess the stability of tree development in four classes of traffic intensity (high, medium, low, and absent), determined through a correlation ratio, the level of which $n = 0.70$ demonstrates a high level of connection. To limit the implementation of *A. negundo* in the local flora, it is recommended that measures be gradually implemented to remove it from parks, squares, gardens, and adjacent territories, with the replacement of woody vegetation species that are well adapted to grow in these habitats.

Keywords: *Acer negundo* L., Irkutsk, urbanized territory, indicator of developmental stability, fluctuating asymmetry, motor traffic, city gardening, epiphyte, leaves

Funding. This study was carried out within the framework of the project “Monitoring of the state of the animal and plant world of Eastern Siberia” (reg. number AAAA-A17-117120640050-1), and the subproject of the Department of Technology in Hunting and Forestry, the Irkutsk State Agrarian University “Improving the assessment of biological resources and production technology in hunting and forestry of Eastern Siberia”.

For citation: Chudnovskaya G.V., Chernakova O.V. Fluctuating asymmetry of the *Acer negundo* L. leaf: an indicator of its state and the quality of the urban environment. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2023;28(2):293–302. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-2-293-302>

Введение

Проблемы оценки качества зеленых насаждений крупных мегаполисов, к которым, несомненно, можно отнести и г. Иркутск, имеют большую актуальность с точки зрения анализа выполнения ими важнейших функций, прежде всего: эстетических, пыле- и газозащитных, санитарно-гигиенических, планировочных и ряда других. Несомненно, подбор древесных пород, способных отвечать соответствующим требованиям, одна из первостепенных задач научных и практических исследований для решения данного вопроса.

Жилая застройка г. Иркутск, созданная в течение более чем трех веков, сформировалась как сочетание строений разных исторических периодов. До конца XIX в. велась квартальная планировка усадебного типа. Далее начали создаваться городские кварталы с каменной периметральной застройкой с замкнутым внутренним пространством. Во второй половине прошлого века были возведены крупные градостроительные элементы – микрорайоны. Во все периоды строительства города в большей или меньшей мере городские улицы, транспортные магистрали и двory облагораживались парками, скверами и придомовыми посадками различных древесных, кустарниковых и травянистых видов растений. В настоящее

время озелененные территории общего пользования занимают площадь в 384 га, что в среднем составляет 6,4 м² на 1 человека, при норме 10 м², что явно недостаточно [1].

По нашим данным [2], а также опубликованным результатам других исследователей [3–5], в посадках и лесных насаждениях г. Иркутск выявлено 52 вида деревьев и 54 вида кустарников, из которых 70 (66 %) представляют местную флору, адвентивных, интродуцированных и культивируемых – 36 (34 %) [2, 6], т. е. доля чужеродных видов фанерофитов очень значительна.

Одним из видов, широко используемых в качестве объекта для озеленения в г. Иркутск, является завезенный из Северной Америки *Acer negundo* L. – клен ясенелистный. В.В. Чепинога, С.В. Солодянкина, В.П. Иванова оценивают его распространение в Иркутске как наиболее часто встречаемый вид с интенсивным возобновлением [7]. Появление *A. negundo* в сибирских городах относится к концу XIX в. Впервые он был высажен в окрестностях г. Омск в 1896 г. [7] и в последующие годы стал одной из обычных адвентивных древесных пород по всей территории России и стран бывшего СССР. В Иркутской области он был введен в культуру в 1948 г. сотрудниками ботанического сада Иркутского государственного университета [8].

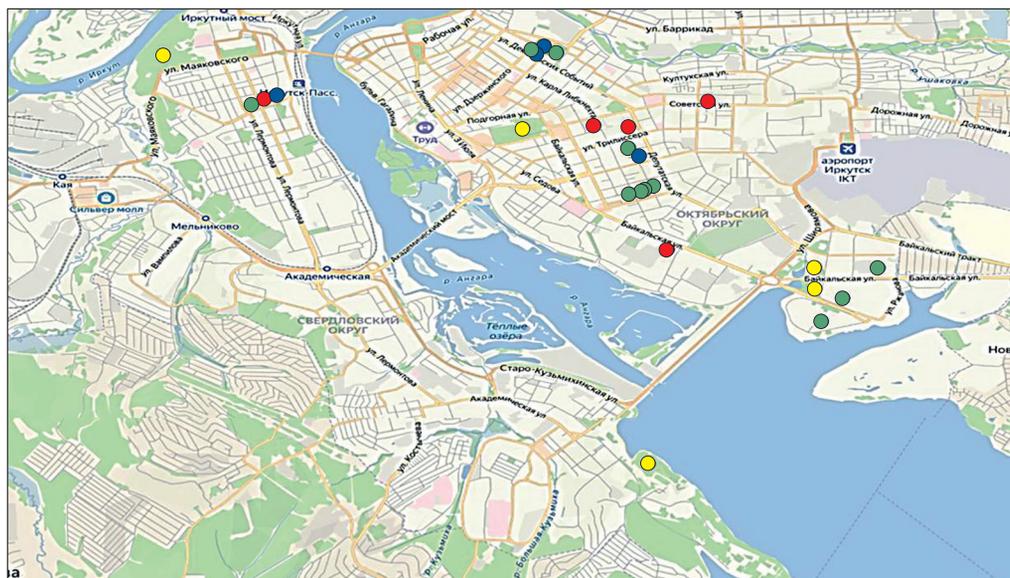
Со второй половины прошлого столетия специалисты стали фиксировать *A. negundo* как *энокофит* в части его вторичного ареала, на нарушенных антропогенных местообитаниях. На территории Иркутской области впервые его обильный самосев был описан в 2004 г. по берегу р. Белая в Усольском районе А.В. Верхозиной и Е.П. Кузнецовой, а его натурализацию в г. Иркутск в 2005 г. отметили В.В. Чепинога, Б. Батбаяр [9]. В связи с этим обстоятельством ряд исследователей ставят вопрос о возможности дальнейшего использования данного растения в зеленых посадках населенных пунктов, так как он представляет серьезную угрозу для существования представителей местной флоры, в том числе и в естественных лесных фитоценозах, по причине его способностей к быстрому росту, обильному плодоношению, высокой доле прорастания семян, раннему наступлению стадии плодоношения и большой устойчивости к неблагоприятным факторам внешней среды [7, 10–12].

При этом быстрое и интенсивное уничтожение *A. negundo* в городских посадках может нанести вред экологической обстановке. По мнению М.В. Костиной, О.И. Ясинской, Н.С. Барабан-

щикова, исключение из зеленого строительства в г. Москва *A. negundo*, который составляет до 40 % от всех деревьев, *нежелательно* [11], но там, где другие виды могут успешно расти, его необходимо полностью истребить. *В качестве его замены можно использовать Acer ginnala Maxim., Populus alba L. и Padus avium Mill.*, которые, по нашим данным, достаточно благополучно произрастают на *урбанизированных территориях* [13–15].

Исследований по успешности использования *A. negundo* в озеленении г. Иркутск ранее не проводилось, в связи с этим целью нашей работы является анализ с помощью оценки показателей стабильности развития по флуктуирующей асимметрии листьев.

Листовая пластинка является чувствительным индикатором негативного воздействия на растение хозяйственной деятельности человека, которое многократно усиливается в крупных мегаполисах в связи с сосредоточением в них промышленных объектов и напряженной транспортной обстановкой [16]. При этом лист имеет билатеральный тип строения, а зафиксированная у него асимметрия хорошо определяемых признаков мо-



Пробные площадки *Acer negundo* L.:

- в транспортной зоне с интенсивным движением автомобильного транспорта
- в транспортной зоне со средней интенсивностью движения автомобильного транспорта
- в селитебной зоне
- в рекреационной зоне

Рис. 1. Карта-схема г. Иркутск с расположением пробных площадок сбора материала *Acer negundo* L.

Fig. 1. Map-layout of Irkutsk with trial sites for collecting *Acer negundo* L.

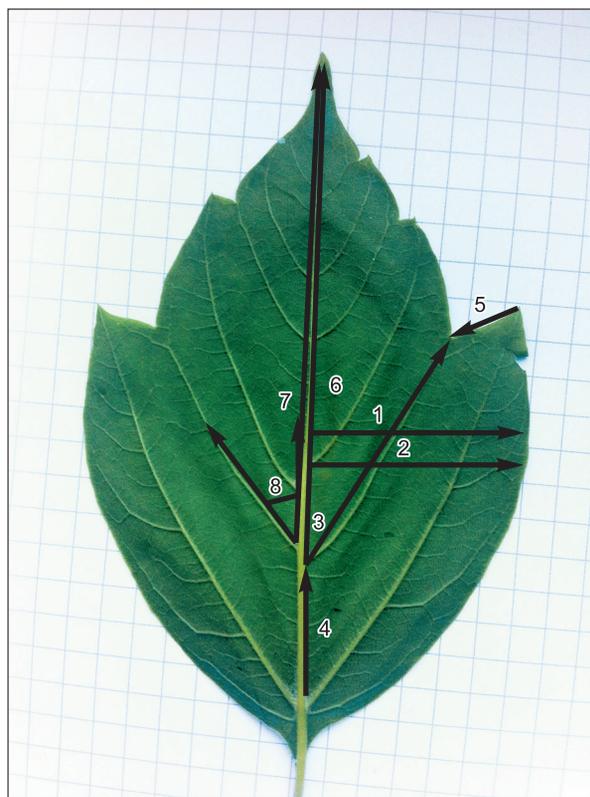


Рис. 2. Промеры верхней листовой пластинки *Acer negundo* L. для оценки флуктуирующей асимметрии.

1 – ширина половинки листовой пластинки, измеренная в середине ее длины; 2 – ширина половинки листовой пластинки, измеренная от основания третьей жилки второго порядка; 3 – длина второй жилки второго порядка; 4 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; 5 – расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка; 6 – расстояние от основания второй жилки второго порядка до вершины листовой пластинки; 7 – расстояние от основания третьей жилки второго порядка до вершины листовой пластинки; 8 – угол между центральной жилкой и второй жилкой второго порядка

Fig. 2. Measurements of the upper leaf blade of *Acer negundo* L. to assess the fluctuating asymmetry.

1 – the width of the half of the leaf blade, measured in the middle of its length; 2 – the width of the half of the leaf blade, measured from the base of the third vein of the second order; 3 – the length of the second vein of the second order; 4 – the distance between the bases of the first and second veins of the second order; 5 – the distance between the ends of the first and second veins of the second 6 – the distance from the base of the second vein of the second order to the top of the leaf blade; 7 – the distance from the base of the third vein of the second order to the top of the leaf blade; 8 – the angle between the central vein and the second vein of the second order

жет служить показателем величины изменения и, как следствие, уровня прессинга на растения неблагоприятных факторов среды обитания, а также мерой степени устойчивости конкретного вида на параметры их действия.

Материалы и методика

Объект исследования – *Acer negundo* L. – клен ясенелистный, произрастающий на территориях с различным уровнем антропогенного воздействия.

Материалами исследования послужили данные, полученные с учетных площадок, находившихся на участках, различающихся по степени воздействия автомобильного транспорта, в 2018–2021 годах. Всего было заложено 25 пробных площадей, из них вдоль транспортных магистралей с различной интенсивностью движения автомобильного транспорта – 9, причем располагали их на различной удаленности от дорог; на придомовых территориях – 11 и в рекреационных зонах – 5 (рис. 1).

Данные о напряженности транспортного потока получены из материалов программы комплексного развития транспортной инфраструктуры г. Иркутск [17], а в случае их отсутствия замеры проводили самостоятельно в течение недели в 8:00, 13:00 и 16:00 и находили средние показатели трафика.

Отбор материала производили с использованием методических рекомендаций по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур) [18], а также с учетом опыта исследователей, работающих по данному направлению [16, 19–22], в конце вегетации в августе–сентябре. На каждой площадке случайной выборкой собирали по 50 листьев с нижней части кроны деревьев. Измерения осуществляли на верхней непарной листовой пластинке с помощью измерительного циркуля, линейки и транспортира с точностью до 1 мм и 1°. На каждом листе фиксировали по 8 промеров с их левой и правой стороны, хорошо определяемых для клена ясенелистного (рис. 2).

Величину асимметрии листовых пластинок для мерных признаков находили как разницу между ними с левой и правой половинок, поделенную на их сумму.

Для каждой листовой пластинки вычисляли величину флуктуирующей асимметрии всех признаков по формуле

$$\Phi A = \left| \frac{L - R}{L + R} \right|,$$

где ΦA – величина флуктуирующей асимметрии листовой пластинки по признаку; L – признак

левой половинки листовой пластинки; R – признак правой половинки листовой пластинки.

Интегральные показатели стабильности развития (средние по различиям) рассчитывали как среднее арифметическое суммы относительной величины асимметрии по всем признакам у каждой особи, отнесенное к числу используемых признаков [18].

Все полученные данные были обработаны методами вариационной статистики с использованием программы Excel. Коэффициент вариации (C) находили через среднее квадратичное отклонение: результат его деления на корень квадратный из количества измеренных листьев умножали на 100 %. Для подтверждения точности полученных результатов рассчитывали ошибку среднего арифметического (m), а для оценки ее уровня определяли степень достоверности (t) как частное от деления средних значений ФА и величин стабильности развития на найденные для них ошибки.

Для определения значимости снижения стабильности развития по флуктуирующей асимметрии листьев использовали закономерности, заложенные в пятибалльной шкале оценки качества среды по степени нарушения *Betula pendula* Roth, утвержденные в рекомендациях по выполнению оценки среды по состоянию живых существ МПР России [18]. Непосредственно использовать данную шкалу не всегда возможно, так как у разных видов древесных растений уровень величин, характеризующий условно-нормальное качество среды, может значительно отличаться от березы повислой. С использованием данной шкалы были предложены «коэффициенты различия степени развития», которые соответствуют значениям интегральных показателей флуктуирующей асимметрии, приведенным в ней, и позволяют определить величину устойчивости изученного вида к факторам влияния:

- условно нормальный ход развития – до 1,11 (соответствует 0,040–0,044 шкалы);
- высокая устойчивость – 1,12–1,24 (0,045–0,049 шкалы);
- средняя устойчивость – 1,25–1,35 (0,050–0,054 шкалы);
- низкая устойчивость – более 1,35 (>0,054 шкалы).

За коэффициент, равный 1,00, приняты показатели территорий с отсутствием воздействия автомобильного транспорта, то есть рекреационные зоны.

Для определения влияния на величину показателей стабильности развития отдельных экземпляров клена ясенелистного расстояния от дорог с различной интенсивностью движения автомобильного транспорта проведены корреляционный и дисперсионный анализы полученных данных для оценки их уровня и степени достоверности.

Результаты исследования и обсуждение

По результатам исследований наивысшие средние показатели флуктуирующей асимметрии листовых пластинок для большинства деревьев, произрастающих в различных зонах (транспортной, жилой и рекреационной), показал признак, характеризующий расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка, а самый низкий – расстояние от основания второй жилки второго порядка до вершины листовой пластинки, что доказывает возможность сравнения данных маркеров для оценки влияния на жизненное состояние клена ясенелистного качества местообитания.

Наивысшую величину интегрального показателя флуктуирующей асимметрии на большинстве площадок продемонстрировал признак, характеризующий расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка. Проведенные расчеты выявили крайне высокую изменчивость исследованных показателей. Причем у деревьев, произрастающих на придомовых территориях и в рекреационных зонах, меньше всего варьируют признаки 2, 5 и 8. У листьев, собранных с экземпляров, растущих вдоль транспортных магистралей, самый низкий коэффициент изменчивости приходится также на угол между центральной жилкой и второй жилкой второго порядка (показатель 8) и, кроме этого, на ширину половинки листовой пластинки, измененную на середине ее длины. Сильнее всего на большинстве учетных площадок различались средние расстояния между основаниями первой и второй жилок второго порядка у левой и правой половинок листа.

Полученные результаты демонстрируют, что показатели стабильности развития *A. negundo* на площадках, расположенных на придомовых территориях, вдоль автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения и на значительном удалении от транспортных магистралей, находятся на одном уровне со значениями, определенными для рекреационных участков, которые

Показатели стабильности развития *Acer negundo* L. на учетных площадкахIndicators of *Acer negundo* L. stability development in test sites

Зона произрастания	Номер учетной площадки	Показатели стабильности развития	Коэффициент вариации С, %	Степень достоверности t
Транспортная зона с интенсивным движением автотранспорта	1	0,060±0,00397	46,76	15,11
	2	0,068±0,00603	62,70	11,28
	3	0,073±0,00663	64,26	11,01
	4	0,064±0,00657	72,54	9,74
	5	0,080±0,00606	53,53	13,20
Средний показатель по зоне		0,069±0,00269		
Транспортная зона со средней интенсивностью движения автотранспорта	6	0,069±0,00679	69,57	10,16
	7	0,056±0,00546	68,94	10,26
	8	0,059±0,00526	63,08	11,22
	9	0,058±0,00587	71,51	9,88
Средний показатель по зоне		0,061±0,00297		
Селитебная	10	0,069±0,00502	51,45	13,75
	11	0,054±0,00624	81,74	8,65
	12	0,050±0,00411	58,14	12,17
	13	0,054±0,00458	59,97	11,79
	14	0,050±0,00382	54,05	13,09
	15	0,061±0,00500	56,90	12,20
	16	0,049±0,00516	55,14	9,50
	17	0,051±0,00389	53,87	13,11
	18	0,051±0,00571	79,13	8,93
	19	0,045±0,00347	54,48	12,97
	20	0,051±0,00486	67,35	10,49
Средний показатель по зоне		0,053±0,00142		
Рекреационная	21	0,049±0,00372	53,62	13,17
	22	0,058±0,00552	67,36	10,51
	23	0,050±0,00433	61,28	11,55
	24	0,050±0,00413	58,41	12,11
	25	0,050±0,00376	53,17	13,30
Средний показатель по зоне		0,052±0,00196		

взяты за точку отсчета. Увеличение данного показателя на учетных участках, разбитых в непосредственной близости к магистралям с максимально интенсивным потоком автотранспорта, составляет 32,7 % и по своему уровню близко к данным по другим видам фанерофитов, участвующим в озеленении на урбанизированной территории, например, *Betula pendula* Roth и *Padus avium* Mill., у которых он расценен нами в 1,33 и 1,30 соответственно [15, 23, 24] (см. таблицу). А.В. Боброва и Е.В. Пименова также отмечают большую толерантность данного вида, в сравнении с березой повислой, к загрязнению атмосфер-

ного воздуха при оценке патологий их листьев и содержанию в них фенольных соединений [25].

Коэффициент линейной корреляции между величинами стабильности развития и расстоянием произрастания *A. negundo* от автомобильных дорог составил $r = -0,64 \pm 0,18$, что подтверждает среднюю связь между этими показателями (рис. 3).

При проведении дисперсионного анализа по оценке стабильности развития деревьев от интенсивности движения автомобильного транспорта учетные площадки были разбиты на четыре класса по данному фактору (высокая, средняя, низкая

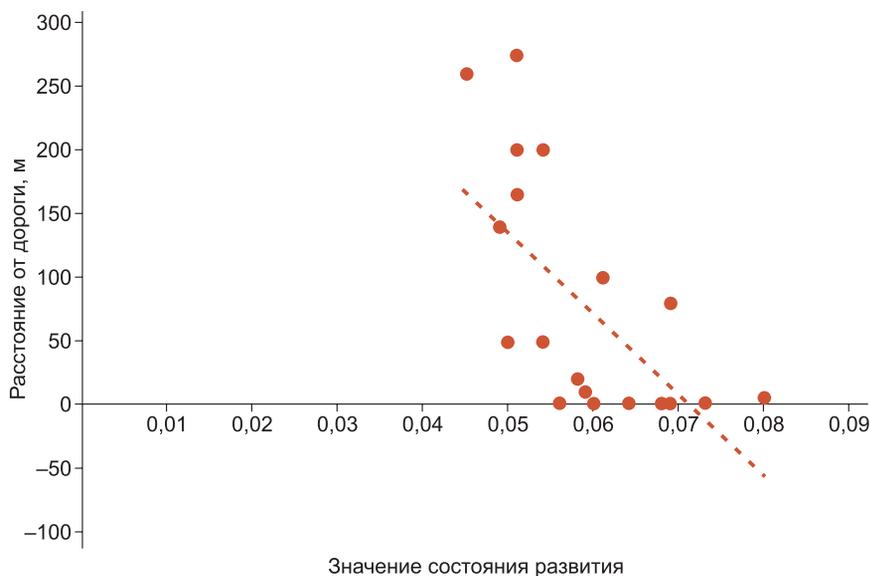


Рис. 3. Линейная корреляция между показателями стабильности развития *Acer negundo* L. и расстоянием до дороги
Fig. 3. Linear correlation between the indicators of *Acer negundo* L. stability development and distance to the road

и отсутствующая). Степень влияния трафика составляет $\eta^2=0,4826$. Значение критерия Фишера – $F = 6,5$ больше табличного. Степень воздействия фактора определяли через корреляционное отношение, величина которого $\eta = 0,70$ по шкале Чеддока демонстрирует высокий уровень связи.

Заключение

Результаты исследований показали, что стабильность развития по флуктуирующей асимметрии листьев указывает на определенную выносливость *A. negundo* к антропогенным воздействиям, в частности, выбросам от автомобильного транспорта. Коэффициент различия степени развития между площадками с рекреационных зон и вдоль транспортных магистралей с высокой интенсивностью движения составляет 1,33. У экземпляров, обследованных в транспортной зоне со средней интенсивностью движения, в сравнении с рекреационными участками, коэффициент – 1,17; в селитебной, в сравнении с рекреационной, 1,02. То есть клен ясенелистный демонстрирует условно-нормальный ход развития в жилой зоне, высокую устойчивость вдоль автомобильных дорог с невысоким потоком автомобильного транспорта и среднюю у дорог с напряженным транспортным потоком. При этом коэффициент линейной корреляции показывает, что на физиологическое состояние клена влияет расстояние от его мест произрастания до дорог.

Несмотря на высокую способность *A. negundo* противостоять негативным факторам среды, выраженную в том числе и в показателях флуктуирующей асимметрии, дальнейшие посадки данного вида не целесообразны в связи с его инвазивностью. С целью ограничения внедрения в местную флору данного вида, можно рекомендовать постепенно проводить мероприятия по его удалению в парках, скверах, садах и придомовых территориях, с заменой на виды древесной растительности, хорошо приспособленные к произрастанию на данных местообитаниях. Уничтожение клена ясенелистного, высаженного на заградительных полосах вдоль автомобильных дорог города, на наш взгляд, может усугубить неблагоприятную экологическую ситуацию, так как в настоящее время в г. Иркутск имеется дефицит зеленых насаждений.

Список литературы / References

- СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89. Утвержден Приказом Минстроя России от 30.12.2016 № 1034/пр. М.; 2016. 125 с.
 SP 42.13330.2016. Set of rules. Urban planning. Planning of urban and rural settlements. Updated version of SNiP 2.07.01-89. Approved by the Order of the Ministry of Construction of Russia dated December 30, 2016, No. 1034/pr. Moscow; 2016. (In Russ.)
- Чернакова О.В., Чудновская Г.В. Современное состояние, перспективы и проблемы в озеленении города Иркутска. *Вестник ИргСХА*. 2018;88:97–107.

Chernakova O.V., Chudnovskaya G.V. The current state, prospects and problems in the landscaping of the city of Irkutsk. *Vestnik IrGSHA*. 2018;88:97–107. (In Russ.)

3. Виньковская О.П. Флорогенетические основы озеленения г. Иркутска и его окрестностей. *Вестник ИрГСХА*. 2011;3(44):47–58.

Vinkovskaya O.P. Florogenetic bases of landscaping in Irkutsk and its environs. *Vestnik IrGSHA*. 2011;3(44):47–58. (In Russ.)

4. Камалетдинова С.И., Виньковская О.П. Фанерофиты г. Иркутска. *Вестник ИрГСХА*. 2015;68:28–36.

Kamaletdinova S.I., Vinkovskaya O.P. Fanerofity g. Irkutsk. *Vestnik IrGSHA*. 2015;68:28–36. (In Russ.)

5. Конспект флоры Иркутской области (сосудистые растения). Ред. Л.И. Малышев. Иркутск: Изд-во ИГУ; 2008. 327 с.

Synopsis of the flora of the Irkutsk region (vascular plants). Ed. L.I. Malyshev. Irkutsk: Irkutsk State University Publishing House; 2008. (In Russ.)

6. Хохлова П.Г., Зацепина О.С., Васильева С.Е. К вопросу изучения истории интродукции древесно-кустарниковых растений в Иркутской области. *Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: Материалы научно-практической конференции молодых ученых (Иркутск, 28–29 марта 2019 г.)*. Иркутск; 2019:51–59.

Hohlova P.G., Zacepina O.S., Vasil'eva S.E. On the issue of studying the history of the introduction of trees and shrubs in the Irkutsk region. *Scientific research and development for implementation in the agro-industrial complex: Proceedings of the scientific and practical conference of young scientists (Irkutsk, March 28–29, 2019)*. Irkutsk; 2019:51–59. (In Russ.)

7. Чепинога В.В., Солодянкина С.В., Иванова В.П. Особенности распространения некоторых культивируемых древесных растений в историческом центре города Иркутска (Восточная Сибирь). *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2017;40:102–115. <https://doi.org/10.17223/19988591/40/6>

Chepinoga V.V., Solodjankina S.V., Ivanova V.P. Features of the distribution of some cultivated woody plants in the historical center of the city of Irkutsk (Eastern Siberia). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2017;40:102–115. (In Russ.). <https://doi.org/10.17223/19988591/40/6>

8. Кузеванов В.Я., Сизых С.В. *Ресурсы Ботанического сада Иркутского государственного университета: научные, образовательные и социально-экологические аспекты: справочно-методическое пособие*. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета; 2005:101.

Kuzevanov V.Ja., Sizyh S.V. *Resources of the Botanical Garden of the Irkutsk State University: scientific, educational and socio-ecological aspects: reference and methodological guide*. Irkutsk: Irkutsk State University Publishing House; 2005:101. (In Russ.)

9. Чепинога В.В., Верхозина А.В. К флоре эргазиофитов Иркутской области. *Материалы к флоре Байкальской Сибири*. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета. 2007;1:161–172.

Chepinoga V.V., Verhozina A.V. To the flora of ergasiophytes of the Irkutsk region. *Materials for the flora of Baikal Siberia*. Irkutsk: Irkutsk State University Publishing House. 2007;1:161–172. (In Russ.)

10. Калита Г.А., Калита О.Н. Клен ясенелистный (Американский) – современное состояние интродукции. *Философия современного природопользования в бассейне реки Амур: Материалы VII международной научно-практической конференции (Хабаровск, 04 мая 2018 г.)*. Хабаровск, 2018:70–72.

Kalita G.A., Kalita O. N. Ash-leaved maple (American) – the current state of introduction. *Philosophy of modern nature management in the Amur river basin: Proceedings of the 7th international scientific and practical conference (Khabarovsk, May 04, 2018)*. Khabarovsk, 2018:70–72. (In Russ.)

11. Костина М.В., Ясинская О.И., Барабанщиков Н.С. Разработка научно-обоснованного подхода использования клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) в озеленении Москвы. *Социально-экологические технологии*. 2017;3:51–64.

Kostina M.V., Jasinskaja O.I., Barabanshnikov N.S. Development of a science-based approach to the use of ash-leaved maple (*Acer negundo* L.) in the landscaping of Moscow. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2017;3:51–64. (In Russ.)

12. Леонтьев Д.Ф., Зверева К.А. Инвазия клена ясенелистного и облепихи по Московскому тракту на участке «Иркутск–Ангарск». *Бюллетень науки и практики = Bulletin of Science and Practice*. 2016;11(12):40–44. <https://doi.org/10.5281/zenodo.166777>

Leontyev D.F., Zvereva K.A. The invasion of ash-leaved maple and sea buckthorn on the Moscow path on site Irkutsk-Angarsk. *Bulletin of Science and Practice*. 2016;11(12):40–44. (In Russ.). <https://doi.org/10.5281/zenodo.166777>

13. Чернакова О.В. Оценка стабильности развития *Acer ginnala* Maxim. в г. Иркутске по флуктуирующей асимметрии листьев. *Вестник ИрГСХА*. 2019;95:84–92.

Chernakova O.V. Evaluation of developmental stability of *Acer ginnala* Maxim. in Irkutsk by fluctuating leaf asymmetry. *Vestnik IrGSHA*. 2019;95:84–92. (In Russ.)

14. Чудновская Г.В., Чернакова О.В. Оценка уровня стабильности развития *Populus alba* L. по флуктуирующей асимметрии листьев в г. Иркутске. Современные проблемы охотоведения: *Материалы национальной научно-практической конференции с международным участием в рамках VIII Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию Иркутского ГАУ «Климат, экология, сельское хозяйство Евразии (г. Иркутск, 22–26 мая 2019 г.)*. Иркутск; 2019: 218–233.

Chudnovskaya G.V., Chernakova O.V. Evaluation of the level of developmental stability of *Populus alba* L. by fluctuating leaf asymmetry in Irkutsk. *Modern problems of game management: Proceedings of the national scientific and practical conference with international participation within the framework of the 8th International scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of the Irkutsk State Agrarian University "Climate, Ecology, Agriculture of Eurasia" (Irkutsk, May 22–26, 2019)*. Иркутск; 2019:218–233. (In Russ.)

15. Чудновская Г.В., Чернакова О.В. Влияние автомобильного транспорта на флуктуирующую асимметрию листьев представителей рода *Padus*. *Вестник ИрГСХА*. 2019;91:92–100.

Chudnovskaya G.V., Chernakova O.V. Influence of road transport on fluctuating asymmetry of leaves in representatives of the genus *Padus*. *Vestnik IrGSHA*. 2019; 91:92–100. (In Russ.)

16. Шадрина Е.Г., Вольперт Я.Л. Практика оценки здоровья среды: эффективность применения показателя флуктуирующей асимметрии и других биоиндикационных подходов. *Жизнь Земли*. 2018;40(2):183–198.

Shadrina E.G., Vol'pert Ya.L. The practice of environmental health assessment: efficiency of fluctuating asymmetry and other bioindication-based approaches. *Zhizn Zemli = Life of the Earth*. 2018;40(2):183–198. (In Russ.)

17. Решение Думы города Иркутска «Об утверждении программы комплексного развития транспортной инфраструктуры города Иркутска на 2016–2025 годы» от 30 сентября 2016 года № 006-20-250396/6. *Официальный портал города Иркутска*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/444821573> (дата обращения 16.11.2019).

Decision of the Duma of the city of Irkutsk "On approval of the program for the integrated development of the transport infrastructure of the city of Irkutsk for 2016–2025" dated September 30, 2016 No. 006-20-250396/6. *Official portal of the city of Irkutsk*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/444821573>. (date of access: 16 November, 2019). (In Russ.)

18. *Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур)*. *Распоряжение Росэкологии от 16.10.2003 № 660*. М.: Наука; 2003. 24 с.

Guidelines for assessing the quality of the environment according to the state of living beings (assessment of the stability of the development of living organisms by the level of asymmetry of morphological structures). *Decree of Ros ecology dated 16.10.2003 № 660*. Moscow: Nauka; 2003. (In Russ.)

19. Захаров В.М., Трофимов И.Е. Морфогенетический подход к оценке среды: исследование стабильности развития. *Онтогенез*. 2017; 48(6):433–442. <https://doi.org/10.7868/S0475145017060064>

Zakharov V.M., Trofimov I.E. Morphogenetic approach to estimation of health of environment: Study of developmental stability. *Rus. J. Dev. Biol.* 2017;(48):369–378. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S1062360417060066>

20. Захаров В.М., Трофимов И.Е. Оценка состояния биоразнообразия: исследование стабильности развития. *Известия Российской академии наук. Серия биологическая*. 2020;(2):115–123. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0002332920020125>

Zaharov V.M., Trofimov I.E. Assessment of biodiversity status: study of developmental stability. *Biology Bulletin*. 2020;(2):115–123. <https://doi.org/10.31857/S0002332920020125>

21. Захаров В.М., Шадрина Е.Г., Турмухаметова Е.Г., Иванцова Н.В., Солдатова В.Ю., Шарова Н.А., Трофимов И.Е. Оценка состояния растений по стабильности развития в естественных и антропогенных условиях (флуктуирующая асимметрия признаков листа березы повислой *Betula pendula* L.). *Известия Российской академии наук. Серия биологическая*. 2020;(2):191–196. <https://doi.org/10.31857/S0002332920020113>

Zakharov V.M., Shadrina E.G., Turmukhametova N.V., Ivantsova E.N., Shikalova E.A., Soldatova V.Yu., Sharova N.A., Trofimov I.E. Assessment of Plant Status by the Stability of Development in Natural and Anthropogenic Conditions (Fluctuating Asymmetry of Leaf Features of the Silver Birch, *Betula pendula* Roth). *Biology Bulletin*. 2020;(2):191–196. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0002332920020113>

22. Шадрина Е.Г., Луцкан Е.Н. Влияние транспортной нагрузки и атмосферного загрязнения на показатель флуктуирующей асимметрии березы плосколистной и территории Алданского района Республики Саха (Якутия). *Наука и образование*. 2016;1(81):121–126.

Shadrina E.G., Luckan E.N. Influence of traffic load and atmospheric pollution on the index of fluctuating asymmetry of flat-leaved birch and the territory of the Aldan region of the Republic of Sakha (Yakutia). *Nauka i obrazovanie*. 2016;1(81):121–126. (In Russ.)

23. Чудновская Г.В., Чернакова О.В. Использование флуктуирующей асимметрии листьев *Betula pendula* Roth для оценки экологического состояния территории г. Иркутска. *Вестник ИрГСХА*. 2018; 89:96–104.

Chudnovskaya G.V., Chernakova O.V. The use of fluctuating leaf asymmetry of *Betula pendula* Roth to assess the ecological state of the territory of Irkutsk. *Vestnik IrGSHA*. 2018; 89:96–104. (In Russ.)

24. Чудновская Г.В., Чернакова О.В. Показатели стабильности развития *Betula pendula* Roth, участвующей в озеленении г. Иркутска. *Вестник ИрГСХА*. 2020;100:100–111.

Chudnovskaya G.V., Chernakova O.V. Indicators of the developmental stability of *Betula pendula* Roth participating in the landscaping of the city of Irkutsk. *Vestnik IrGSHA*. 2020;100:100–111. (In Russ.)

25. Боброва А.В., Пименова Е.В. Биоиндикация загрязнения воздуха по характеристикам листьев березы повислой и клена ясенелистного. *Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование: Труды шестой международной научно-практической конференции (Москва, 29 ноября–01 декабря 2018 г.)*. М.; 2018:450–455.

Bobrova A.V., Pimenova E.V. Bioindication of air pollution on leaf characteristics of *Betula Pendula* and *Acer Negundo*. *Indication of the state of the environment: theory, practice, education: Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference (Moscow, November 29–December 01, 2018)*. Moscow; 2018: 450–455. (In Russ.)

Об авторах

ЧУДНОВСКАЯ Галина Валерьевна, кандидат биологических наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-3119-1693>, AuthorID: 475191, e-mail: g.chudnowskaya2011@yandex.ru

ЧЕРНАКОВА Ольга Владимировна, старший преподаватель, <https://doi.org/0000-0002-3283-9703>, AuthorID: 1024201, e-mail: chernakova-o@list.ru

About the authors

CHUDNOVSKAYA, Galina Valeryevna, Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-3119-1693>, AuthorID: 475191, e-mail: g.chudnowskaya2011@yandex.ru

CHERNAKOVA, Olga Vladimirovna, Senior Lecturer, <https://doi.org/0000-0002-3283-9703>, AuthorID: 1024201, e-mail: chernakova-o@list.ru

Поступила в редакцию / Submitted 10.03.2023

Поступила после рецензирования / Revised 25.04.2023

Принята к публикации / Accepted 18.05.2023