 © Авторы статьи / Authors of the article

ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ, ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ/FORESTRY, FORESTRY, FOREST CROPS, AGROFORESTRY, LANDSCAPING, FOREST PYROLOGY AND TAXATION

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.75.5 EDN: SGQQJH

ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ КЛЕНА ЯСЕНЕЛИСТНОГО (*ACER NEGUNDO* L.) В УСЛОВИЯХ Г. БРАТСКА

Научная статья

Павшок А.В.[1, *], Рунова Е.М.[2]
[1] ORCID : 0009-0002-2718-7568;
[2] ORCID : 0000-0001-6178-4038;
[1, 2] Братский государственный университет, Братск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (annapavshok[at]yandex.ru)

Предложена: 22.09.2026; Принята: 30.10.2026; Опубликована: 19.11.2026

Аннотация

В работе представлены результаты оценки состояния насаждений клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) в различных районах г. Братска методом флуктуирующей асимметрии листовой пластинки. Материал собран в июле–августе 2025 года на внутридомовых территориях и вдоль автомобильных дорог в Центральном, Падунском и Правобережном районах г. Братска. Расчёт интегрального показателя флуктуирующей асимметрии листовой пластинки проводили с использованием двух шкал: классической (В.М. Захаров) и адаптированной для *Acer negundo* L. (О.В. Чернакова). Установлено, что интегральный показатель флуктуирующей асимметрии листовой пластинки варьирует от 0,0596 до 0,0923 в зависимости от зоны произрастания. Наиболее неблагополучная экологическая обстановка зафиксирована на внутридомовых территориях Центрального района г. Братска, наиболее благополучная — вдоль дорог Правобережного района г. Братска. Полученные результаты позволяют рекомендовать *Acer negundo* L. в качестве модельного объекта для экологического мониторинга городских территорий и обосновывают необходимость учёта возрастной структуры древостоев при биоиндикационных исследованиях, а также разработки возраст-специфических критериев оценки качества среды.

Ключевые слова: стабильность развития, флуктуирующая асимметрия, клен ясенелистный.

ASSESSMENT OF THE DEVELOPMENT STABILITY OF MAPLE ASH (*ACER NEGUNDO* L.) IN BRATSK

Research article

Pavshok A.V.[1, *], Runova Y.M.[2]
[1] ORCID : 0009-0002-2718-7568;
[2] ORCID : 0000-0001-6178-4038;
[1, 2] Bratsk State University, Bratsk, Russian Federation

* Corresponding author (annapavshok[at]yandex.ru)

Suggested: 22.09.2026; Accepted: 30.10.2026; Published: 19.11.2026

Abstract

The work presents the results of an assessment of the condition of maple ash (*Acer negundo* L.) stands in various districts of Bratsk, using the method of fluctuating asymmetry of the leaf blade. The data were collected in July–August 2025 on residential estates and along roads in the Central, Padunsky and Pravoberezhny districts of Bratsk. The integral index of fluctuating asymmetry of the leaf blade was calculated using two scales: the classical scale (V.M. Zakharov) and the scale adapted for *Acer negundo* L. (O.V. Chernakova). It was found that the integral index of fluctuating asymmetry of the leaf blade varies from 0.0596 to 0.0923 depending on the growing zone. The most unfavourable ecological conditions were recorded in residential areas of the Central District of Bratsk, while the most favourable were found along the roads of the Right Bank District of Bratsk. The obtained results allow to recommend *Acer negundo* L. as a model species for environmental monitoring of urban areas and justify the need to take into account the age structure of tree stands in bioindication studies, as well as the development of age-specific criteria for assessing environmental quality.

Keywords: development stability, fluctuating asymmetry, maple ash.

Введение

Одной из главных пород в зеленом фонде Братска является ясенелистный клен — высокое дерево (до 25 м), исторической родиной которого является Северная Америка. По оценкам В.В. Чепиноги, С.В. Солодянкиной и В.П. Ивановой, первая сибирская посадка датируется 1896 годом (Омск) [1]. Впоследствии вид расселился по всей стране и ближнему зарубежью. В Прибайкалье он появился в 1948 году — его интродукцией занимался Ботанический сад Иркутского госуниверситета [2].

Климат Братска, как и Иркутской области в целом, характеризуется как резко континентальный. Самый теплый месяц — июль со средней температурой +18 °С; абсолютный максимум достигает +37°С. Наиболее холодный месяц

 © Авторы статьи / Authors of the article

— январь (средняя температура −21,2 °С), абсолютный минимум составляет −57°С. Экологическая обстановка в городе неблагоприятная [3], [4].

Листовая пластинка растений отличается высокой чувствительностью к неблагоприятным факторам среды. В нормальных условиях форма листа характеризуется зеркальной симметрией по ряду параметров. Анализ флуктуирующей асимметрии (ФА) основан на измерении мелких отклонений в строении листьев и служит индикатором устойчивости деревьев к внешним воздействиям. С его помощью можно объективно охарактеризовать состояние среды в зонах техногенного влияния [5], [6], [7].

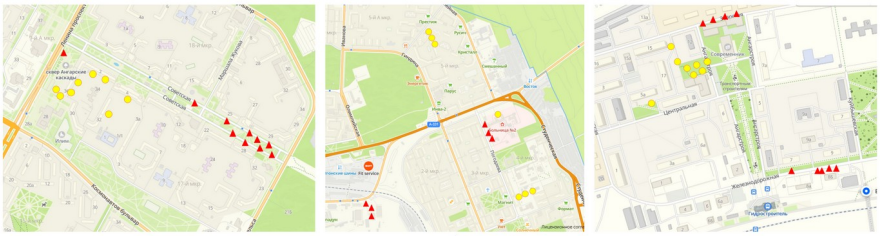
Флуктуирующая асимметрия используется для оценки: самих древесных растений в озеленении; биоиндикации загрязнений [8]; степени загрязнения воздушной среды [9]; воздействия антропогенного прессинга [10], [11], [12], [13].

Цель исследования: оценить состояние насаждений клена ясенелистного методами флуктуирующей асимметрии листьев в придомовой территории и вдоль дорог в различных районах Братска.

Методы и принципы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны листья клена ясенелистного, собранные в Центральном, Падунском и Правобережном районах г. Братска и разделенные по категориям: внутридомовая территория и территория вдоль дорог (2–3 метра от проезжей части). Клен ясенелистный *(Acer negundo* L.) встречается во всех районах города Братска, что делает его удобным объектом для сравнительной оценки качества окружающей среды. Несмотря на то, что сибирские ученые (А.Л. Эбель, А.Н. Куприянов, Т.О. Стрельникова и др.), внесли *Aser negundo* L. в «Черную книгу флоры Сибири», *Aser negundo* L. можно использовать как объект биоиндикации в плане удобства сбора материала, т.к. состояние организма отражает состояние конкретного локального местообитания, раскрывает направления развития окружающей среды, показывает скопления в экосистемах различных загрязнений.

Отбор листьев осуществляли после завершения их линейного роста в вегетационный период (июль–август 2025 г.). Листовые пластины собирали в нижнем ярусе кроны дерева. Для обеспечения репрезентативности пробы материал отбирали равномерно по всему периметру дерева с максимально возможного количества веток. Все листья (всего 600 листьев), входящие в одну пробу, помещали в полиэтиленовый пакет с этикеткой. На этикетке фиксировали номер образца, детальное описание места отбора (с максимально точной географической и топографической привязкой) и дату сбора (см. рис. 1).



а *б* *в*

Рисунок 1 - Расположение объектов исследований:
а – в Центральном районе; *б* – в Падунском районе; *в* – в Правобережном районе
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.75.5.1

Примечание: ○ – внутридомовая территория; ▲ – территория вдоль дорог

Изучаемые объекты территориально удалены друг от друга: расстояние от Центрального района до Падунского составляет 22 км, до Правобережного — 36 км. При этом общее состояние и возрастная структура популяций клена ясенелистного характеризуются слабой изменчивостью по районам города Братска.

В качестве условного контроля выбраны городские насаждения Правобережного района, что обусловлено исключительно видовым составом древостоев: *Acer negundo* L. (клён ясенелистный) в пределах г. Братска встречается преимущественно в урбанизированных массивах.

Наибольший уровень техногенной нагрузки характерен для Центрального района, где сосредоточены основные промышленные объекты города — ПАО «РУСАЛ Братск», Братский завод ферросплавов, Группа «Илим» и ТЭЦ. Деятельность данных предприятий сопровождается систематическими превышениями предельно допустимых концентраций (ПДК) как по твёрдым взвешенным веществам, так и по газообразным поллютантам, что создаёт устойчивый аэротехногенный фон в прилегающих жилых и придорожных зонах.

Сравнительная оценка состояния насаждений клена ясенелистного проводилась по флуктуирующей асимметрии (ФА) листовой пластины. Проводились измерения билатеральных показателей листьев. Показателями стабильности развития приняты следующие:

– ширина половинки листовой пластинки, измеренная на середине ее длины;
– ширина половинки листовой пластинки, измеренная от основания третьей жилки второго порядка;
– длина второй жилки второго порядка;
– расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка;
– расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка;
– расстояние от основания второй жилки второго порядка до вершины листовой пластинки;
– расстояние от основания третьей жилки второго порядка до вершины листовой пластинки;

 © Авторы статьи / Authors of the article

– угол между центральной жилкой и второй жилкой второго порядка (см. рис. 2) [14].

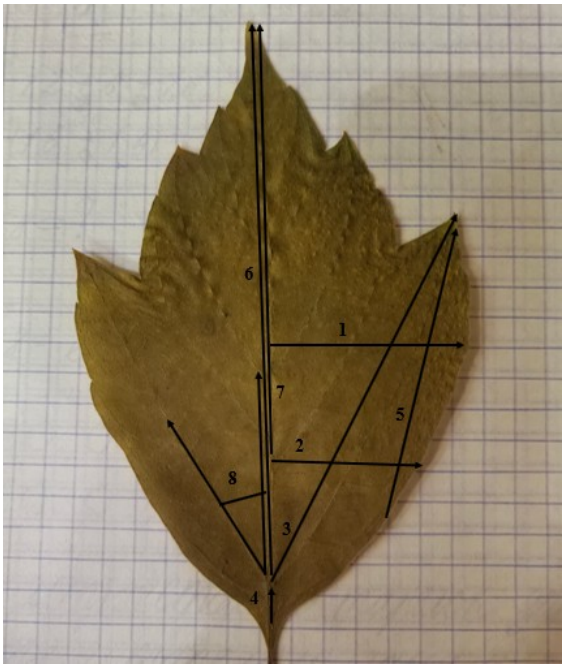


Рисунок 2 - Метрические показатели листовых пластинок для оценки флуктуирующей асимметрии клена ясенелистного:
1 – ширина половинки листовой пластинки, измеренная на середине ее длины; *2* – ширина половинки листовой пластинки, измеренная от основания третьей жилки второго порядка; *3* – длина второй 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
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.75.5.2

По каждому параметру определяется коэффициент асимметрии по формуле В.М. Захарова [15]:

$$\Phi = \frac{|\pi_{\text{П}} - \pi_{\text{Л}}|}{\pi_{\text{П}} + \pi_{\text{Л}}}, \quad (1)$$

где Ф — величина флуктуирующей асимметрии листовой пластинки по признаку;
$п_п$ — признак правой половинки листовой пластинки;
$п_л$ — признак левой половинки листовой пластинки.

Для определения уровня точности и анализа полученных результатов рассчитывали величины статистических ошибок (m), коэффициенты вариации (изменчивости) (C) (2, 3) [16]:

$$m_{\text{м}} = \frac{\delta}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

$$C_{\upsilon} = \frac{\delta}{M} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где C_v — коэффициент вариации;
δ — среднее квадратичное отклонение;
M – средняя арифметическая;
m_M — статистическая ошибка;
n — число наблюдений в выборке.

Статистическая обработка полученных данных выполнялась методами вариационной статистики с использованием программного пакета Excel 2013.

Обычно, для оценки флуктуирующей асимметрии используется разработанная методика оценивания качества среды на основе показателей стабильности развития В.М. Захарова [14]. О.В. Чернакова разработала методику для оценки показателей стабильности зеленых насаждений Иркутской области для каждого вида растений, в том числе для *Acer negundo* L. (см. табл. 1).

 © Авторы статьи / Authors of the article

Таблица 1 - Шкала оценки качества среды по величине флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *Acer negundo L*

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.75.5.3

Шкала В.М. Захарова			Шкала О.В. Чернаковой для *Acer negundo* L.		
Балл	Качество среды	Показатель стабильности развития (величина флуктуирующей асимметрии)	Балл	Качество среды	Показатель стабильности развития (величина флуктуирующей асимметрии)
I	Условно-нормальное	< 0,040	I	Условно-нормальное	< 0,052
II	Начальное (незначительное) отклонение от нормы	0,040–0,044	II	Начальное (незначительное) отклонение от нормы	0,052–0,057
III	Средний уровень отклонения от нормы	0,045–0,049	III	Средний уровень отклонения от нормы	0,058–0,064
IV	Существенные (значительные) отклонения от нормы	0,050–0,054	IV	Существенные (значительные) отклонения от нормы	0,065–0,070
V	Критическое состояние	> 0,054	V	Критическое состояние	0,071 и более

Основные результаты и обсуждение

В таблице 2 представлены итоговые данные по стабильности развития *Acer negundo* L.: интегральные значения ФА для каждого административного района Братска и средние показатели в зависимости от зоны произрастания.

Таблица 2 - Результаты оценки стабильности развития клена ясенелистного

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.75.5.4

Район	Категория произрастания деревьев	Номер признака								Величина асимметрии листа
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Центральный район	Внутридомовая территория	0,0706	0,0747	0,065	0,2445	0,1634	0,0285	0,0406	0,0508	0,0923
	Вдоль дорог	0,0607	0,0529	0,0518	0,1408	0,1637	0,0122	0,0265	0,0591	0,071
Падунский район	Внутридомовая территория	0,0538	0,0532	0,0629	0,2246	0,1754	0,02	0,0298	0,0582	0,0847
	Вдоль дорог	0,0743	0,0531	0,0433	0,0526	0,2078	0,0203	0,0475	0,0465	0,0682
Правобережный район	Внутридомовая территория	0,0407	0,0511	0,0782	0,1338	0,1524	0,0148	0,0286	0,0636	0,0704
	Вдоль дорог	0,0449	0,0407	0,0523	0,1196	0,1375	0,0171	0,0225	0,0426	0,0596

 © Авторы статьи / Authors of the article

Анализ флуктуирующей асимметрии листовых пластин клена ясенелистного выявил дифференциацию экологического стресса по районам Братска. Наиболее благополучным является Правобережный район, тогда как Центральный район (особенно внутридомовые территории) демонстрирует максимальное антропогенное воздействие. Более стабилен клен ясенелистный, произрастающий вдоль дорог.

Составлены гистограммы значений ФА для различных категорий произрастания деревьев и районов города в сравнении с критическим показателем качества среды ФА >0,054 по В.М. Захарову и ФА > 0,071 по О.В. Чернаковой (см. рис. 3, 4).

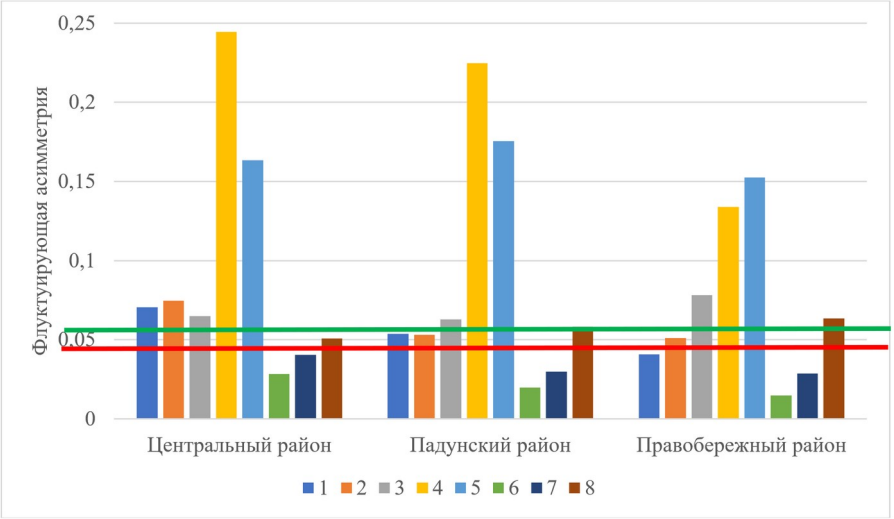


Рисунок 3 - Показатели стабильности развития деревьев клена ясенелистного, произрастающего на внутридомовой территории по восьми билатеральным признакам в различных районах г. Братска:
красная линия – критический показатель качества среды ФА по В.М. Захарову; *зелёная линия* – критический показатель качества среды ФА по О.В. Чернаковой для *Acer negundo L*
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.75.5.5

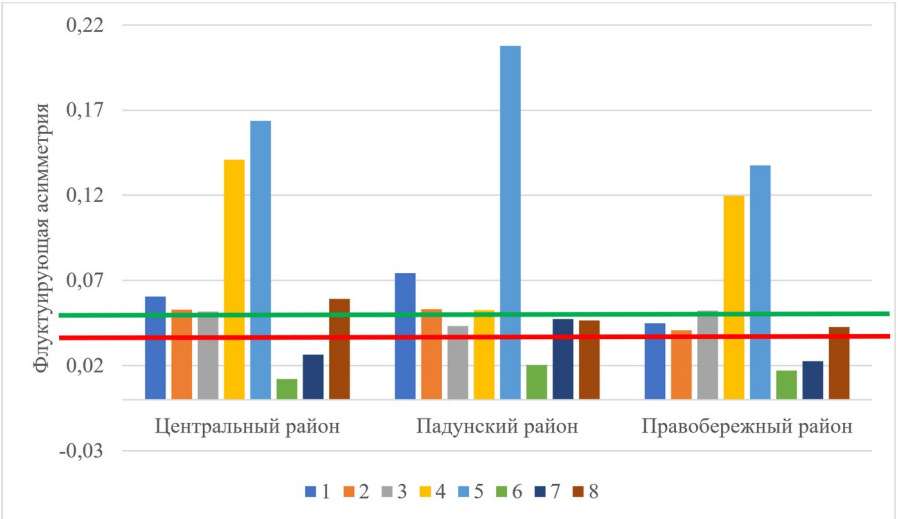


Рисунок 4 - Показатели стабильности развития деревьев клена ясенелистного, произрастающего вдоль дорог по восьми билатеральным признакам в различных районах г. Братска:
красная линия – критический показатель качества среды ФА по В.М. Захарову; *зелёная линия* – критический показатель качества среды ФА по О.В. Чернаковой для *Acer negundo L*
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.75.5.6

Таким образом, обобщение результатов позволяет выявить некоторые особенности в значениях флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *Acer negundo* L. в зависимости от условий произрастания.

У деревьев, растущих на внутридомовых территориях, максимальные значения ФА зафиксированы по 4-му и 5-му признакам (расстояние между основаниями и между концами первой и второй жилок второго порядка) — их

 © Авторы статьи / Authors of the article

интервалы составили 0,1338–0,2445 и 0,1524–0,1754 соответственно. По 5 признаку все три района превышают критические линии и по В.М. Захарову, и по О.В. Чернаковой, что указывает на критическое состояние деревьев независимо от используемой шкалы. В то же время по 4 признаку (Центральный и Правобережный районы) фиксируется превышение порога только по методике О.В. Чернаковой, тогда как шкала В.М. Захарова классифицирует эти значения как допустимые. Наименьшие отклонения, напротив, отмечены для 6-го и 7-го признаков (расстояние от оснований второй и третьей жилок второго порядка до вершины листа) — здесь значения варьировали от 0,0148 до 0,0285 и от 0,0286 до 0,0406.

Сходная картина наблюдается и у придорожных деревьев: максимальный уровень ФА также приходится на 4-й и 5-й признаки (0,0526–0,1408 и 0,1375–0,2078), тогда как минимальный — на 6-й и 7-й (0,0122–0,0203 и 0,0225–0,0475).

Проведенные расчеты демонстрируют высокий уровень критических показателей качества среды для *Acer negundo* L. по О.В. Чернаковой (см. рис. 5).

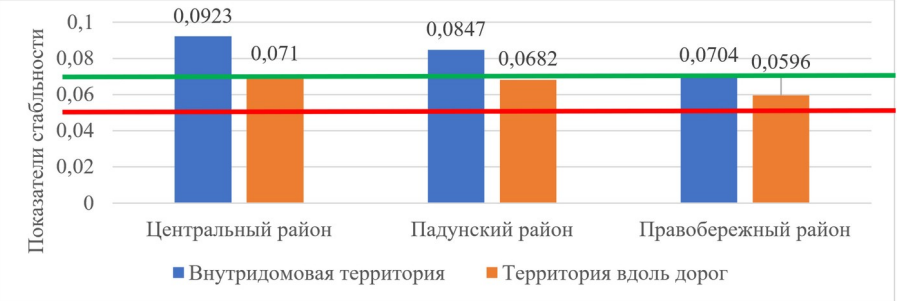


Рисунок 5 - Показатели стабильности развития деревьев клена ясенелистного в г. Братске:
красная линия – критический показатель качества среды ФА по В.М. Захарову; *зелёная линия* – критический показатель качества среды ФА по О.В. Чернаковой для *Acer negundo L*
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.75.5.7

За контрольную точку (нулевой уровень) (К) выбрана внутридомовая территория Правобережного района. Средняя асимметрия в контроле = 0,0704 (это значение принято за 1,00) (см. табл. 3).

Таблица 3 - Результаты расчета контрольной точки для всех выборок

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.75.5.8

Район	Категория	Средняя асимметрия	Контрольная точка	Интерпретация
Правобережный	Внутридомовая	0,0704	1,00	Нулевая точка (контроль)
	Вдоль дорог	0,0596	0,0596/0,0704= 0,85	Ниже контроля
Центральный	Внутридомовая	0,0923	0,0923/0,0704=1,31	Средняя устойчивость
	Вдоль дорог	0,0710	0,0710/0,0704=1,01	Условно нормальное развитие
Падунский	Внутридомовая	0,0847	0,0847/0,0704=1,20	Высокая выносливость
	Вдоль дорог	0,0682	0,0682/0,0704=0,97	Ниже контроля (условно норма)

Правобережный район, вдоль дорог получил К ниже контроля, асимметрия листьев у дороги в Правобережном районе ниже, чем во дворах этого же района. Это объясняется тем, что дороги вдоль дорог в Правобережном районе посадки клена ясенелистного более молодые и более здоровые, а также интенсивность автомобильного транспорта в этом районе крайне низкая.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Таблица 4 - Статистические показатели интегрального показателя стабильности клена ясенелистного по разным территориям произрастания деревьев в разных районах Братска

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.75.5.9

	Среднее значение, X±m	Стандартное отклонение, σ	Коэффициент вариации, CV%	Вариабельность
Внутридомовая территория				
Центральный район	0,0923±0,267	1,5822	31,152	Очень высокая
Падунский район	0,0847±0,254	2,0462	37,05	Очень высокая
Правобережный район	0,0704±0,231	1,8603	36,911	Очень высокая
Территория вдоль дорог				
Центральный район	0,071±0,174	1,648	33,17	Очень высокая
Падунский район	0,0682±0,436	1,3776	24,157	Высокая
Правобережный район	0,0596±0,271	1,6004	33,642	Очень высокая

По таблице 4, анализ коэффициента вариации (CV) показал, что во всех исследованных группах деревьев изменчивость признака очень высокая (CV = 24,157–37,05 %). Высокий коэффициент вариации означает, что отдельные деревья даже в пределах одного района сильно различаются между собой по уровню нарушения стабильности развития.

Таблица 5 - Оценка качества среды и стабильности развития клена ясенелистного

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.75.5.10

Места сбора листьев	Среднее значение показателя асимметричности по всем категориям деревьев, %	Оценка качества среды по методике В.М. Захарова	Оценка качества среды по методике О.В. Чернаковой (для *Acer negundo* L.)
Центральный район	0,0816	V Критическое состояние	V Критическое состояние
Падунский район	0,0765	V Критическое состояние	V Критическое состояние
Правобережный район	0,065	V Критическое состояние	IV Существенные (значительные) отклонения от нормы

Таким образом, по таблице 5, методика О.В. Чернаковой (для *Acer negundo* L.) оказалась более чувствительной к межрайонным различиям и позволила выделить Правобережный район как относительно более благополучный по сравнению с Центральным и Падунским, тогда как методика В.М. Захарова классифицирует все три района как критически неблагополучные.

Полученные результаты потребовали учета дополнительных факторов, среди которых выбран возраст деревьев. Все деревья разделили по группам: 1 — до 20 лет, 2 — от 20 до 40 лет, более 40 лет (см. табл. 6).

Таблица 6 - Результаты оценки стабильности развития клена ясенелистного

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.75.5.11

Район	Возраст деревьев	Номер признака								Величина асимметрии листа
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Центральный район	До 20 лет	0,0596	0,0648	0,0579	0,158	0,1592	0,0184	0,0263	0,058	0,0753
	20-40	0,0645	0,0502	0,0513	0,1898	0,1685	0,0116	0,0364	0,0594	0,0789

 © Авторы статьи / Authors of the article

Район	Возраст деревье	Номер признака								Величина
		1	2	3	4	5	6	7	8	
	лет									
	Более 40 лет	0,0793	0,0552	0,0559	0,1721	0,1712	0,0228	0,0343	0,0441	0,0793
Падунский район	До 20 лет	0,0599	0,0572	0,0617	0,2706	0,1902	0,0294	0,0423	0,0626	0,0967
	20-40 лет	0,0545	0,0475	0,0481	0,1481	0,1606	0,0139	0,0254	0,0517	0,0687
	Более 40 лет	0,0562	0,0664	0,1052	0,2438	0,2297	0,0217	0,0336	0,0616	0,1023
Правобережный район	До 20 лет	0,0434	0,0542	0,087	0,1549	0,1926	0,0158	0,0325	0,0545	0,0794
	20-40 лет	0,0414	0,0441	0,0618	0,1252	0,1228	0,0159	0,0249	0,059	0,0619
	Более 40 лет	0,0424	0,0474	0,0599	0,072	0,1559	0,0129	0,0177	0,0453	0,0567

Наиболее стабильное развитие клена ясенелистного (минимальные значения флуктуирующей асимметрии) зафиксировано в Правобережном районе. Наибольший уровень стресса (максимальная асимметрия) отмечен в Падунском районе у старых деревьев и в Центральном районе во всех возрастных группах. В правобережном районе: с возрастом асимметрия снижается на 28,6% (с 0,0794 до 0,0567), это свидетельствует об улучшении экологической обстановки в данном районе за последние десятилетия либо о естественном отборе наиболее устойчивых особей.

В Центральном районе асимметрия остается стабильно высокой во всех возрастных группах (0,075–0,079). Отсутствует положительная динамика - в отличие от Правобережного района, здесь нет снижения асимметрии у старых деревьев.

Результаты оценки стабильности развития клена ясенелистного в зависимости от возраста представлены по всем районам г. Братска на рис. 6.

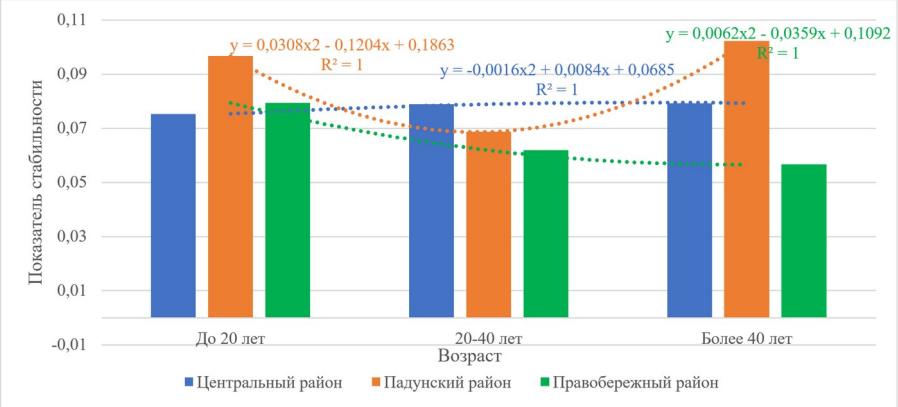


Рисунок 6 - Результаты оценки стабильности развития клена ясенелистного в зависимости от возраста в г. Братске
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.75.5.12

В Центральном районе наблюдается умеренный рост показателя асимметрии с увеличением возраста деревьев: от 0,075 (до 20 лет) до 0,085 (более 40 лет). Данная тенденция указывает на постепенное накопление стрессовых эффектов у деревьев старших генераций, что может быть обусловлено хроническим воздействием техногенных выбросов. В Падунском районе жизненное состояние старых деревьев ухудшается, о чем свидетельствуют показатели стабильности. В Правобережном районе (условный контроль) значения показателя снижаются с возрастом: от 0,080 (до 20 лет) до 0,060 (более 40 лет), т.е. постепенно улучшаются показатели стабильности, а, соответственно, и качество среды.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при проведении биоиндикационных исследований городской среды с использованием *Acer negundo L.* необходимо учитывать возрастную структуру древостоев, поскольку показатели флуктуирующей асимметрии листовой пластинки варьируют в зависимости от возрастной группы деревьев.

Заключение

Таким образом, на основании проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

 © Авторы статьи / Authors of the article

1. Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), несмотря на высокую адаптационную способность как инвазивный вид, является чувствительным индикатором антропогенной нагрузки в условиях резко континентального климата и промышленного загрязнения г. Братска.

2. Метод флуктуирующей асимметрии (ФА) листовой пластинки позволил выявить дифференциацию экологического стресса по районам и категориям произрастания.

3. Полученные результаты дают основание рекомендовать *Acer negundo* L. в качестве модельного объекта при экологическом мониторинге. Выбор этот обусловлен двумя ключевыми факторами: во-первых, вид демонстрирует выраженную реакцию на техногенное воздействие, а во-вторых, широко представлен в городских насаждениях, что обеспечивает репрезентативность выборки.

4. Возрастной анализ выявил районную специфику: в Центральном районе высокий уровень стресса сохраняется во всех возрастных группах, в Падунском наблюдается ухудшение условий для старых деревьев, а в Правобережном — снижение асимметрии с возрастом. Высокая и очень высокая вариабельность признаков (CV = 24–37%) указывает на неоднородность экологических условий даже в пределах одного района и категории произрастания.

5. Выявленные возрастные различия в показателях асимметрии листьев *Acer negundo L.* указывают на необходимость учёта возраста деревьев при биоиндикации городской среды. Разработка возраст-специфических критериев оценки для данного вида позволит повысить достоверность результатов экологического мониторинга.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Ильина В.Н., Самарский государственный социально-педагогический университет, Самара Российская Федерация

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.75.5.13

Conflict of Interest

None declared.

Review

Iliyna V.N., Samara State University of Social Sciences and Education, Samara Russian Federation

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.75.5.13

Список литературы / References

1. Чепинога В.В. Особенности распространения некоторых культивируемых древесных растений в историческом центре г. Иркутска (Восточная Сибирь) / В.В. Чепинога, С.В. Солодянкина, В.П. Иванова // Вестник Томского государственного университета. Биология. — 2017. — № 40. — С. 102–115.

2. Чудновская Г.В. Флуктуирующая асимметрия листа Acer negundo *L.* как индикатор состояния организма и качества городской среды / Г.В. Чудновская, О.В. Чернакова // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. — 2023. — № 28 (2). — С. 293–302.

3. Латышева И.В. Климат и экология Иркутской области: учебное пособие / И.В. Латышева, К.А. Лощенко, С.Ж. Вологжина; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Иркутский государственный университет, Географический факультет. — Иркутск: Изд-во ИГУ, 2024. — 229 с.

4. Пузанова О.А. Оценка состояния интродуцентов методами биоиндикации / О.А. Пузанова, Е.В. Логинова // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. — 2024. — Т. 1. — С. 276–281.

5. Протокович З.А. Флуктуирующая асимметрия листьев некоторых древесно-кустарниковых пород / З.А. Протокович, Ю.М. Чупрова // Исследования молодежи — экономике, производству, образованию: Материалы XIV Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Сыктывкар, 17–21 апреля 2023 года. — Сыктывкар: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2023. — С. 51–53.

6. Королев А.Н. Биоиндикационная оценка состояния городской среды по величине флуктуирующей асимметрии листьев клена ясенелистного (Acer negundo L.) / А.Н. Королев, Д.А. Ражев // Высшая школа: научные исследования: материалы Межвузовского международного конгресса. — Москва: Инфинити, 2021. — С. 96–104.

7. Кирпиченко К.А. Особенности биоиндикации методом флуктуирующей асимметрии листьев Acer negundo / К.А. Кирпиченко // Теория и практика современной аграрной науки: Сборник IX национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием. — Новосибирск: ИЦ Университета биотехнологий «Золотой колос», 2026. — Ч. 1. — С. 537–541.

8. Егорова А.В. Биоиндикация загрязнения районов г. Хабаровска по величине флуктуирующей асимметрии листовой пластинки клена ясенелистного / А.В. Егорова // Биоразнообразие, состояние и динамика природных и антропогенных экосистем России : сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции. — Комсомольск-на-Амуре: Амурский гуманитарно-педагогический государственный университет, 2024. — С. 63–69.

9. Берегова Н.В. Оценка степени загрязнения воздушной среды по показателю флуктуирующей асимметрии клена остролистного / Н.В. Берегова, К.В. Николаев, О.К. Стаковецкая [и др.] // Медико-биологические, клинические и социальные вопросы здоровья и патологии человека: материалы XI Всероссийской научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием. — Иваново: Ивановский государственный медицинский университет, 2025. — С. 111–113.

10. Фрунзе О.В. Оценка изменчивости морфологии листовой пластинки *Acer platanoides* L. под воздействием антропогенного прессинга / О.В. Фрунзе, В.О. Стахова // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. — 2025. — № 1. — С. 139–146.

 © Авторы статьи / Authors of the article

11. Колесникова К.Г. Морфологическая изменчивость листьев древесного растения (*Acer negundo* L.) в условиях антропогенной нагрузки / К.Г. Колесникова // Фундаментальные и прикладные исследования в биологии и экологии: Сборник статей по материалам региональной научной конференции. — Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2024. — С. 26–29.

12. Кухар И.В. Дендроиндикация древесных растений в урбанизированной среде / И.В. Кухар, Е.В. Авдеева, Д.В. Иванов [и др.] // Проблемы озеленения крупных городов: сборник статей XXII научно-практического форума, М., 29–30 августа 2023 года. — Москва: МК-ИНТЕРТРЕЙД; ИНТЕК, 2023. — С. 109–112.

13. Шадрина Е.Г. Оценка здоровья среды по величине флуктуирующей асимметрии древесных растений: анализ возможных причин искажения результатов / Е.Г. Шадрина, В.Ю. Солдатова // Известия РАН. Серия биологическая. — 2023. — № 7. — С. 29–38.

14. Чудновская Г.В. Особенности биомониторинга урбанизированных территорий с использованием флуктуирующей асимметрии разных видов древесных растений (на примере Иркутска) / Г.В. Чудновская, О.В. Чернакова // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. — 2025. — № 2.

15. Захаров В.М. Оценка состояния растений по стабильности развития в естественных и антропогенных условиях (флуктуирующая асимметрия признаков листа березы повислой *Betula pendula* L.) / В.М. Захаров, Е.Г. Шадрина, Е.Г. Турмухаметова [и др.] // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. — 2020. — № 2. — С. 191–196.

16. 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. — Москва: Наука; 2003. — 24 с.

17. Захаров В.М. Оценка состояния биоразнообразия: исследование стабильности развития / В.М. Захаров, И.Е. Трофимов // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. — 2020. — № 2. — С. 115–123.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Chepinoga V.V. Osobennosti rasprostraneniya nekotorikh kultiviruemikh drevesnikh rastenii v istoricheskom tsentre g. Irkutska (Vostochnaya Sibir) [Characteristics of the distribution of certain cultivated tree species in the historic centre of Irkutsk (Eastern Siberia)] / V.V. Chepinoga, S.V. Solodyankina, V.P. Ivanova // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya [Bulletin of Tomsk State University. Biology]. — 2017. — № 40. — P. 102–115. [in Russian]

2. Chudnovskaya G.V. Fluktuiruyushchaya asimmetriya lista Acer negundo L. kak indikator sostoyaniya organizma i kachestva gorodskoi sredi [Fluctuating asymmetry in the leaves of Acer negundo L. as an indicator of plant health and the quality of the urban environment] / G.V. Chudnovskaya, O.V. Chernakova // Prirodnie resursi Arktiki i Subarktiki [Natural Resources of the Arctic and Subarctic]. — 2023. — № 28 (2). — P. 293–302. [in Russian]

3. Latisheva I.V. Klimat i ekologiya Irkutskoi oblasti: uchebnoe posobie [Climate and ecology of Irkutsk Oblast: a study guide] / I.V. Latisheva, K.A. Loshchenko, S.Zh. Vologzhina; Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Irkutsk State University, Faculty of Geography. — Irkutsk: Irkutsk State University Publishing House, 2024. — 229 p. [in Russian]

4. Puzanova O.A. Otsenka sostoyaniya introdutsentov metodami bioindikatsii [Assessment of the condition of introduced species using bioindication methods] / O.A. Puzanova, Ye.V. Loginova // Trudi Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Yestestvennie i inzhenernie nauki [Proceedings of Bratsk State University. Series: Natural and Engineering Sciences]. — 2024. — Vol. 1. — P. 276–281. [in Russian]

5. Protokovich Z.A. Fluktuiruyushchaya asimmetriya listev nekotorikh drevesno-kustarnikovikh porod [Fluctuating asymmetry in the leaves of certain tree and shrub species] / Z.A. Protokovich, Yu.M. Chuprova // Issledovaniya molodezhi — ekonomike, proizvodstvu, obrazovaniyu: Materiali XIV Vserossiiskoi molodezhnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Siktivkar, 17–21 aprelya 2023 goda [Youth Research — Economy, Production, Education: Proceedings of the XIV All-Russian Youth Scientific and Practical Conference, Syktyvkar, 17–21 April 2023]. — Syktyvkar: S.M. Kirov St Petersburg State Forestry University, 2023. — P. 51–53. [in Russian]

6. Korolev A.N. Bioindikatsionnaya otsenka sostoyaniya gorodskoi sredi po velichine fluktuiruyushchei asimmetrii listev klena yasenelistnogo (Acer negundo L.) [Bioindicator assessment of the urban environment based on the fluctuating asymmetry of maple ash (Acer negundo L.) leaves] / A.N. Korolev, D.A. Razhev // Visshaya shkola: nauchnie issledovaniya: materiali Mezhvuzovskogo mezhdunarodnogo kongressa [Higher Education: Scientific Research: Proceedings of the Inter-University International Congress]. — Moscow: Infinity, 2021. — P. 96–104. [in Russian]

7. Kirpichenko K.A. Osobennosti bioindikatsii metodom fluktuiruyushchei asimmetrii listev Acer negundo [Specifics of bioindication using the method of fluctuating asymmetry in Acer negundo leaves] / K.A. Kirpichenko // Teoriya i praktika sovremennoi agrarnoi nauki: Sbornik IX natsionalnoi (vserossiiskoi) nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnim uchastiem [and Practice of Modern Agricultural Science: Proceedings of the 9th National (All-Russian) Scientific Conference with International Participation]. — Novosibirsk: Information Centre of the ‘Zolotoy Kolos’ University of Biotechnology, 2026. — Pt. 1. — P. 537–541. [in Russian]

8. Yegorova A.V. Bioindikatsiya zagryazneniya raionov g. Khabarovska po velichine fluktuiruyushchei asimmetrii listovoi plastinki klena yasenelistnogo [Bioindication of pollution in areas of Khabarovsk based on the degree of fluctuating asymmetry in the leaf blade of the maple ash] / A.V. Egorova // Bioraznoobrazie, sostoyanie i dinamika prirodnikh i antropogennikh ekosistem Rossii : sbornik materialov IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Biodiversity, Status and Dynamics of Natural and Anthropogenic Ecosystems in Russia: Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference]. — Komsomolsk-on-Amur: Amur State University of Humanities and Pedagogy, 2024. — P. 63–69. [in Russian]

 © Авторы статьи / Authors of the article

9. Beregova N.V. Otsenka stepeni zagryazneniya vozdushnoi sredi po pokazatelyu fluktuiruyushchei asimmetrii klena ostrolistnogo [Assessment of the degree of air pollution based on the fluctuating asymmetry index of the Norway maple] / N.V. Beregova, K.V. Nikolaev, O.K. Stakovetskaya [et al.] // Mediko-biologicheskie, klinicheskie i sotsialnie voprosi zdorovya i patologii cheloveka: materiali XI Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii studentov i molodikh uchenikh s mezhdunarodnim uchastiem [Medical, biological, clinical and social aspects of human health and pathology: proceedings of the 11th All-Russian Scientific Conference of Students and Young Scientists with international participation]. — Ivanovo: Ivanovo State Medical University, 2025. — P. 111–113. [in Russian]

10. Frunze O.V. Otsenka izmenchivosti morfologii listovoi plastinki Acer platanoides L. pod vozdeistviem antropogennogo pressinga [An assessment of the variability in the morphology of the leaf blade of Acer platanoides L. under anthropogenic pressure] / O.V. Frunze, V.O. Stakhova // Vestnik Donetskogo natsionalnogo universiteta. Seriya A: Yestestvennie nauki [Bulletin of Donetsk National University. Series A: Natural Sciences]. — 2025. — № 1. — P. 139–146. [in Russian]

11. Kolesnikova K.G. Morfologicheskaya izmenchivost listev drevesnogo rasteniya (Acer negundo L.) v usloviyakh antropogennoi nagruzki [Morphological variability of the leaves of a woody plant (Acer negundo L.) under anthropogenic stress] / K.G. Kolesnikova // Fundamentalnie i prikladnie issledovaniya v biologii i ekologii: Sbornik statei po materialam regionalnoi nauchnoi konferentsii [Fundamental and Applied Research in Biology and Ecology: A collection of papers based on the proceedings of a Regional Scientific Conference]. — Perm: Perm State National Research University, 2024. — P. 26–29. [in Russian]

12. Kukhar I.V. Dendroindikatsiya drevesnikh rastenii v urbanizirovannoi srede [Dendroindication of woody plants in an urbanised environment] / I.V. Kukhar, Ye.V. Avdeeva, D.V. Ivanov [et al.] // Problemi ozeleneniya krupnikh gorodov: sbornik statei XXII nauchno-prakticheskogo foruma, M., 29–30 avgusta 2023 goda [Issues in the Greening of Large Cities: Proceedings of the XXII Scientific and Practical Forum, Moscow, 29–30 August 2023]. — Moscow: MK-INTERTREID; INTEK, 2023. — P. 109–112. [in Russian]

13. Shadrina Ye.G. Otsenka zdorovya sredi po velichine fluktuiruyushchei asimmetrii drevesnikh rastenii: analiz vozmozhnikh prichin iskazheniya rezultatov [Assessment of environmental health based on the degree of fluctuating asymmetry in woody plants: an analysis of possible causes of bias in the results] / Ye.G. Shadrina, V.Yu. Soldatova // Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological Series]. — 2023. — № 7. — P. 29–38. [in Russian]

14. Chudnovskaya G.V. Osobennosti biomonitoringa urbanizirovannikh territorii s ispolzovaniem fluktuiruyushchei asimmetrii raznikh vidov drevesnikh rastenii (na primere Irkutska) [Specifics of biomonitoring in urbanised areas using the fluctuating asymmetry of various tree species (based on Irkutsk)] / G.V. Chudnovskaya, O.V. Chernakova // Prirodnie resursi Arktiki i Subarktiki [Natural Resources of the Arctic and Subarctic]. — 2025. — № 2. [in Russian]

15. Zakharov V.M. Otsenka sostoyaniya rastenii po stabilnosti razvitiya v yestestvennikh i antropogennikh usloviyakh (fluktuiruyushchaya asimmetriya priznakov lista berezi povisloi Betula pendula L.) [Assessment of plant condition based on developmental stability under natural and anthropogenic conditions (fluctuating asymmetry of leaf traits in the silver birch, Betula pendula L.)] / V.M. Zakharov, Ye.G. Shadrina, Ye.G. Turmukhametova [et al.] // Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya biologicheskaya [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological Series]. — 2020. — № 2. — P. 191–196. [in Russian]

16. Metodicheskie rekomendatsii po vipolneniyu otsenki kachestva sredi po sostoyaniyu zhivikh sushchestv (otsenka stabilnosti razvitiya zhivikh organizmov po urovnyu asimmetrii morfologicheskikh struktur) [Methodological guidelines for assessing environmental quality based on the condition of living organisms (assessment of the stability of living organisms' development based on the level of asymmetry in morphological structures)]: Order No. 660 of Rosekologiya dated 16 October 2003. — Moscow: Nauka; 2003. — 24 p. [in Russian]

17. Zakharov V.M. Otsenka sostoyaniya bioraznoobraziya: issledovanie stabilnosti razvitiya [Assessment of the state of biodiversity: a study of developmental stability] / V.M. Zakharov, I.E. Trofimov // Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya biologicheskaya [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological Series]. — 2020. — № 2. — P. 115–123. [in Russian]