

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2026.2/7>

УДК 630\*17:581.522.4

## **Оценка стабильности развития тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в условиях массового поражения листовой ржавчиной**

Елена М. Рунова<sup>1</sup>, runova0710@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6178-4038>

Ольга А. Пузанова<sup>1</sup>, puzanova-olga@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9681-5041>

Ольга И. Новоселова<sup>1</sup>, novoselova.o.i@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0913-2865>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», ул.Макаренко, 40, г. Братск, Иркутская обл., 665709, Российская Федерация

Методы флуктуирующей асимметрии довольно часто используются для оценки стабильности развития насаждений в условиях промышленного загрязнения городских территорий. Цель исследования - оценить стабильность развития насаждений тополя бальзамического методами флуктуирующей асимметрии листьев неформованных, формованных деревьев и поросли, ослабленных листовой ржавчиной и бурой пятнистостью в различных районах Братска Иркутской области. В исследованиях использовался метод флуктуирующей асимметрии по методике В.М. Захарова, а также по методике Е.В. Авдеевой. Братск является сложной городской агломерацией, в которой жилые районы удалены друг от друга на десятки километров, поэтому оценивать степень стабильности развития деревьев тополя бальзамического от уровня загрязнения возможно в высокой степени достоверности. Исследования проводились в течение 2023-2024 годов для различных категорий деревьев: неформованных и формованных деревьев и поросли, которую тополь дает в больших количествах. Установлено, что поражение тополя бальзамического листовой ржавчиной и бурой пятнистостью является решающим фактором, влияющим на стабильность развития насаждений, при этом, влияние формовки и уровень загрязнения больных насаждений не оказывает, как обычно существенного влияния на показатели флуктуирующей асимметрии. При этом, в первый год массового заболевания тополей листовой ржавчиной не сказался на стабильности развития, а в последующие годы после эпифитотии произошло сильное ослабление деревьев, выражающееся в ранней дефолиации деревьев, приведшее к критическому состоянию стабильности развития. Оценка стабильности развития деревьев в данном случае малоэффективна. Основным фактором, влияющим на стабильность развития городских насаждений тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.), пораженных листовой ржавчиной тополя и бурой пятнистостью листьев, является фактор ослабления жизненного состояния деревьев под воздействием патогенов, что приводит к потере декоративности растений, ранней дефолиации и потере симметрии в листовых пластинках.

**Ключевые слова:** стабильность развития, флуктуирующая асимметрия, тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), листовая ржавчина тополя, бурая пятнистость

**Финансирование:** данное исследование не получало внешнего финансирования.

**Благодарности:** авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Рунова, Е. М. Оценка стабильности развития тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в условиях массового поражения листовой ржавчиной / Е. М. Рунова, О. А. Пузанова, О. И. Новоселова // Лесотехнический журнал. – 2026. – Т. 16. – № 2 (62). – С.100–117. – Библиогр.: с. 114–117 (21 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2026.2/7>.

*Поступила 25.03.2026. Пересмотрена 30.04.2026. Принята 15.05. 2026. Опубликовано онлайн 26.06.2026*

Article

## **Evaluation of the stability of the balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) under conditions of mass leaf rust infestation**

Elena M. Runova<sup>1</sup>, runova0710@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6178-4038>

Olga A. Puzanova<sup>1</sup>, puzanova-olga@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9681-5041>

Olga I. Novoselova<sup>1</sup>, novoselova.o.i@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0913-2865>

<sup>1</sup> Bratsk State University, 40 Makarenko Street, Bratsk, Irkutsk Region, 665709, Russian Federation

Fluctuating asymmetry methods are often used to assess the stability of plantation development in the context of industrial pollution in urban areas. The aim of this study is to evaluate the stability of balsam poplar plantation development using fluctuating asymmetry methods on the leaves of unformed, formed, and weakened trees and saplings affected by leaf rust and brown spot in various areas of Bratsk, Irkutsk Region. The study used the fluctuating asymmetry method based on the methodology developed by V.M. Zakharov and E.V. Avdeeva. Bratsk is a complex urban agglomeration, in which residential areas are tens of kilometers away from each other, so it is possible to assess the degree of stability of the development of balsam poplar trees from the level of pollution with a high degree of accuracy. The studies were conducted during 2023-2024 for various categories of trees: unformed and formed trees, and the saplings that poplar produces in large quantities. It has been established that the balsam poplar's leaf rust and brown spot disease are crucial factors affecting the stability of the plantations' development, while the influence of shaping and the level of pollution in the affected plantations does not have a significant impact on the fluctuating asymmetry indicators, as is usually the case. However, in the first year of the mass leaf rust disease in the poplars, it did not affect the stability of their development, but in subsequent years after the epiphytosis, there was a significant weakening of the trees, resulting in early defoliation, which led to a critical state of stability in their development. In this case, assessing the stability of tree development is not very effective. The main factor affecting the stability of the development of urban poplar (*Populus balsamifera* L.) plantations affected by poplar leaf rust and brown leaf spot is the weakening of the trees' vitality due to pathogens, which leads to a loss of plant декоративности, early defoliation, and loss of symmetry in the leaf blades.

**Keywords:** *development stability, fluctuating asymmetry, poplar (Populus balsamifera L.), poplar leaf rust, brown spotting*

**Funding:** This study received no external funding.

**Acknowledgements:** The authors thank the reviewers for their contributions to the peer review of this article.

**Conflict of interest:** The authors declare that they have no conflict of interest.

**For citation:** Runova E. M., Puzanova O. A., Novoselova O. I. (2026) Evaluation of the stability of the balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) under conditions of mass leaf rust infestation. Forestry Engineering journal, Vol. 16, No. 2 (62), pp. 100–117. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2026.2/7>.

*Received* 25.03.2026.

*Revised* 30.04.2026.

*Accepted* 15.05.2026. *Published online* 26.06.2026

### Введение

Представители рода Тополь (*Populus*) широко используются в озеленении. Тополь по праву считается одним из самых выносливых городских деревьев. Он демонстрирует устойчивость к промышленным выбросам и сохраняет высокие темпы прироста даже в условиях неблагоприятной экологии и сурового климата. Его главная ценность для урбоэкосистем заключается в мощной способности поглощать углекислый и сернистый газ, эффективно задерживать пыль, а также противостоять агрессивному воздействию промышленных предприятий и транспорта. По продуктивности выделения кислорода в городской черте этому дереву нет равных. Кроме того, тополь активно насыщает воздух фитонцидами, подавляя рост болезнетворных бактерий. За период вегетации он продуцирует огромное количество этих летучих веществ, очищая атмосферу от загрязнений. Это незаменимая порода для озеленения оживленных трасс: тополь накапливает в себе значительные объемы выхлопных газов и тяжелых металлов, при этом совершенно нетребователен к составу грунта [1-4].

Ключевым фактором, обеспечившим тополю бальзамическому преимущество в озеленении городов Сибири, является его быстрый

рост и высокая морозостойкость: уже к пяти годам дерево достигает значительных размеров и способен выдерживать морозы до  $-50^{\circ}\text{C}$ . Однако при всей своей полезности, с точки зрения урбоэкологии, насаждения тополя бальзамического имеют ряд серьезных минусов:

- Из-за специфики строения древесины стволы крайне уязвимы к повреждениям.
- Продолжительность жизни здоровых деревьев в условиях загазованности, особенно вблизи автострад, относительно мала.
- С возрастом древесина становится хрупкой, что приводит к обламыванию ветвей и падению стволов при сильном ветре.
- Тополиный пух, аккумулирующий пыльцу цветущих растений, превращается в мощный аллерген, а его скопления создают пожарную опасность [2,4].

В Иркутской области основой городских зеленых массивов является тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.). Он формируют основу садов и парков, используются при озеленении придомовых территорий и внутриквартальных скверов, а также создает тенистые аллеи как вдоль пешеходных маршрутов, так и вдоль оживленных улиц. По данным авторов [2-4] тополь

бальзамический занимает более 67% от общего количества древесных растений городского ассортимента.

Братск расположен в центре Восточно - Сибирского региона РФ на пересечении важнейших коммуникаций, связывающих европейский и азиатский континенты с Севером Восточной Сибири и Якутии, что является основой для его экономического, социального и культурного развития. Город Братск представляет собой разрозненные жилые массивы, находящиеся на значительном удалении друг от друга [5].

Климат города, как и всей Иркутской области – резко континентальный. Наиболее теплым месяцем является июль +18 градусов, с абсолютным максимумом +37 градусов. Самые низкие температуры наблюдаются в январе -21,2 градуса, с абсолютным минимумом -57 градусов. Глубина промерзания грунта составляет 3м [5]. Братск отнесен к городам с неблагоприятной экологической обстановкой. Крупные предприятия города (ПАО «РУСАЛ Братск»; Братский завод ферросплавов; Братский лесопромышленный комплекс (ОАО Группа «Илим»); ТЭЦ ПАО «Иркутскэнерго») выбрасывают в атмосферу города твердые и газообразные выбросы, превышающие нормы ПДК. На уровень загрязнения атмосферного воздуха влияют в первую очередь концентрации общераспространённых загрязняющих веществ – сера диоксида, азота диоксида, взвешенных веществ и оксида углерода; превышения ПДК регистрируются также в отношении других веществ – гидрофторида, формальдегида, фенола, бенз(а)пирена [5].

Тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.) произрастает во всех районах города и может служить объектом исследований флуктуирующей асимметрии для оценки стабильности развития

растений и качества окружающей среды. Поскольку тополь в городских посадках подвергается обрезке крон, часто радикальной, оценка состояния окружающей среды проводилась отдельно на неформованных деревьях, формованных деревьях и поросли, так как тополь бальзамический отличается высокой порослевой способностью, что делает данный вид в условиях Братска потенциально инвазионным. Кроме этого, начиная с 2023 года, насаждения тополя бальзамического в Иркутской области были массово поражены листовой ржавчиной тополя (ЛРТ) (возбудитель - *Melampsora larici-populina* Kleb.), что привело к эпифитотии, кроме этого заболевания листьев массово встречается бурая пятнистость листьев (возбудитель — гриб *Marssonina populi* Sacc.) [6-8].

*Цель исследований:* оценить сравнительное состояние окружающей среды и состояния самих насаждений тополя бальзамического методами флуктуирующей асимметрии листьев неформованных, формованных деревьев и поросли, ослабленных листовой ржавчиной и бурой пятнистостью в различных районах Братска

### **Материалы и методы**

Сравнительная оценка экологического состояния различных районов города проведена методом биоиндикации (Захаров, 2020, Авдеева, 2022) по флуктуирующей асимметрии (ФА) листовой пластины тополя бальзамического [9-20]. Проводились измерения билатеральных показателей листьев: длина второй от основания листа жилки второго порядка, расстояние между основаниями второй и первой жилок второго порядка, расстояние между окончаниями этих же жилок, угол между главной и второй жилкой второго порядка и т. д. На рисунке 1 представлена схема замеров листьев тополя.

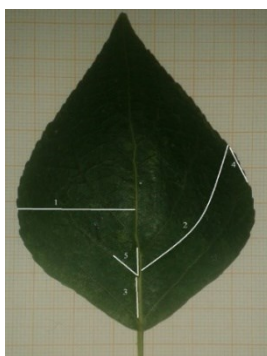


Рисунок 1 – Схема замера билатеральных показателей листа тополя бальзамического [9,12],

1 – ширина половинки листа; 2 – длина второй жилки от основания листа; 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок; 4 – расстояние между концами этих жилок; 5 – угол между главной и второй от основания жилками

## Естественные науки и лес

Figure 1 – Scheme of measurement of the balsam poplar leaf bilaterals [9,12],

1 – width of the half-leaf; 2 – length of the second vein from the leaf base; 3 – distance between the bases of the first and second veins; 4 – distance between the ends of these veins; 5 – angle between the main and second from the base veins

Источник: собственные изображения авторов  
Source: author's images

По каждому параметру определяется коэффициент асимметрии по формуле Захарова:

$$fa_i = \frac{|L_i - R_i|}{(L_i + R_i)}$$

Также использовалась методика оценки качества среды Е.В. Авдеевой [18-19]. Для этого в

программе AutoCAD были измерены площади левых и правых половинок листьев. По методике Е.В. Авдеевой [18,19] определены показатели асимметричности площадей листовых пластинок. В таблице 1 приведена шкала оценивания качества среды по методике Е.В. Авдеевой.

Таблица 1

Оценка качества среды по методике Авдеевой [18,19]

Table 1

Assessment of the quality of the environment according to the Avdeeva method [18,19]

Значение показателя асимметричности, % The value of the asymmetry indicator %	Оценка качества среды Environmental quality assessment
До 9 up to 9	Условная норма The conditional norm
От 9 до 10 From 9 to 10	Удовлетворительное состояние Satisfactory condition
От 10 до 11 From 10 to 11	Напряжённое состояние Tense state
От 11 до 12 From 11 to 12	Конфликтное состояние Conflict status
Более 12 More than 12	Критическое состояние Critical condition

Источник: шкала оценивания качества среды по методике Е.В. Авдеевой  
Source: E.V. Avdeeva's environmental quality assessment scale

В качестве объектов исследования были выбраны листья тополя бальзамического, в следующих жилых районах:

1) в Центральном – улицы: Баркова, Подбельского, Энгельса, Пихтовая, Обручева, Гагарина, Свердлова, Курчатова;

2) в Падуне – улицы: Гидростроителей и Набережная;

3) в Энергетике – улицы: Приморская и Юбилейная;

4) в Гидростроителе – улицы: Спортивная и Орлова;

5) в Вихоревке – улицы: Советская и Ленина (контроль)

Сбор материала был проведен после остановки роста листьев (в августе-сентябре 2024 года), для сопоставления были использованы исследования 2023 года. Для исследований были отобраны деревья в возрасте от 15 до 20 лет, за

исключением поросли, возраст которой не превышал 3 лет. Листья были собраны из нижней части кроны дерева с максимального количества доступных веток равномерно вокруг дерева [11]. Листья собирались с неформованных и формованных деревьев, а также с поросли. На улицах, которые были взяты для исследований в Падунском жилом районе поросли не оказалось. Она была скошена вместе с травой. Все листья, собранные для одной выборки, были сложены в полиэтиленовый пакет с этикеткой, в которой указаны номер выборки, место сбора (делая максимально подробную привязку к местности), дата сбора [9]. Каждая выборка включает в себя 40 листьев: по 10 листьев с 4 растений, всего 1840 листьев. В 2023 году было обследовано 750 листьев на трех участках города. На рисунке 2 представлены схемы расположения участков, на которых были взяты образцы листьев для исследования 2024 года.



Рисунок 2 – Расположение объектов исследований, а) – в Центральном районе; б) – в жилых районах Падун и Энергетик; в) – в жилом районе Гидростроитель; г) – контроль – г. Вихоревка  
Figure 2 – Location of the research objects: a) in the Central District; b) in the residential areas of Padun and Energetik; c) in the residential area of Gidrostroytel; d) control – Vikhorevka

Источник: собственное изображение авторов  
Source: the author's own image

Объекты исследования расположены на значительном расстоянии друг от друга. Так расстояние от центрального района до жилых районов Падун и Энергетик по прямой составляет 16 км, до жилого района Гидростроитель по прямой 22 км, до г. Вихоревка (контроль) по прямой 27 км. Контрольные точки были выбраны по уровню загрязнения воздуха и расстоянию от источников промышленного загрязнения, поскольку практически все насаждения тополя бальзамического были ослаблены ЛРТ и бурой пятнистостью.

В 2023 году в городах Иркутской области разразилась эпифитотия ржавчины тополя

(возбудитель - гриб *Melampsora larici-populina*), ранее здесь не встречавшейся. Инфекция, началась с поросли, затем перешла на обрезанные деревья и к концу лета поразила до 98% тополей, вызвав преждевременное почернение и опадение листьев. Источником заражения стал занос спор из Сибири (Красноярск, Томск и др.). В 2024 году ситуация повторилась: к ржавчине добавилась бурая пятнистость (возбудитель — гриб *Marssonina populi* Sacc.) [21].

На рисунке 2 представлено состояние кроны деревьев и листьев на момент сбора листьев.



а)



б)



в)

## Естественные науки и лес

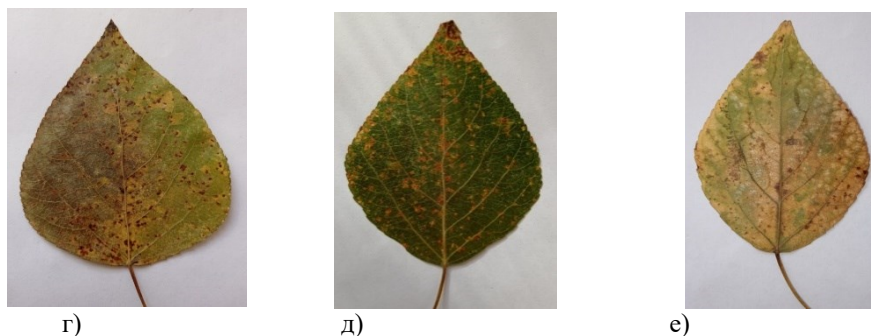


Рисунок 3 – Состояние кроны и листьев тополя бальзамического: а) – кроны неформованных деревьев, б) - кроны формованных деревьев, в) - кроны поросли; г) - листья неформованных деревьев, д) – листья формованных деревьев, е) – листья поросли.

Figure 3 – The condition of the crowns and leaves of the balsam poplar: a) the crowns of unformed trees, b) the crowns of formed trees, c) the crowns of sprouts; d) the leaves of unformed trees, e) the leaves of formed trees, and f) the leaves of sprouts.

Источник: собственные изображения авторов  
Source: author's images

Как видно на рисунке 3 (а-в), состояние кроны в августе 2024, когда проводились исследования свидетельствует об ослаблении деревьев, хорошо заметны признаки дефолиации, листья имеют признаки поражения бурой пятнистостью и ржавчиной, при этом, средний процент поражения листовых пластин грибковыми заболеваниями составил более 50%. (г-е).

Все полученные результаты обработаны методами вариационной статистики в программе Excel 2013 с определением следующих показателей: среднего значения, ошибки среднего, среднеквадратического отклонения, коэффициента

вариации, точности полученных результатов, среднее значение по всем категориям деревьев определялось как среднее арифметическое. Также была проведена проверка нормальности распределения использованием критерия Колмогорова – Смирнова.

### Результаты и обсуждение

Результаты исследования в 2024 году листовых пластин тополя бальзамического показали, что площади листьев тополя бальзамического существенно отличаются друг от друга (таблица 2).

Таблица 2

Площади листовой пластинки тополя бальзамического (см<sup>2</sup>) в различных частях города

Table 2

Areas of the leaf plate of the balsam poplar (cm<sup>2</sup>) in different parts of the city

Категории деревьев Categories of trees	Место исследования/Place of research				
	Центральный район/ The Central district	Энергетик/ The power engineer	Гидростроитель/ Hydraulic builder	Падун/ Padun	Вихоревка (контроль)/ Vikhorevka (control)
Неформованные деревья Unformatted trees	29,9	27,5	31,6	25,7	36,6
Формованные деревья Molded Trees	28,7	40,5	35,2	21,3	27,3
Поросль The growth	27,1	39,8	27,1	-	23,6

Среднее значение по трем категориям деревьев The average value for the three tree categories	28,6	35,9	31,3	23,5	29,2
---	------	------	------	------	------

Источник: собственные вычисления авторов  
Source: author's calculation

Как показывают результаты, приведенные в таблице 2, наибольшая площадь листовой пластинки наблюдается в жилых районах Энергетик и Гидростроитель (35,9 см<sup>2</sup> и 31,3 см<sup>2</sup>), наименьшие площади зафиксированы в жилом районе Падун и в Центральном районе города, где сконцентрированы промышленные предприятия (соответственно 23,5 см<sup>2</sup> и 28,6 см<sup>2</sup>). Если оценивать площадь листьев по

категориям деревьев, то закономерно у формованных деревьев и поросли площади больше, чем у неформованных.

Измеренные листья тополя бальзамического (рисунок 4) различаются по площади в зависимости от категории деревьев и места исследования.

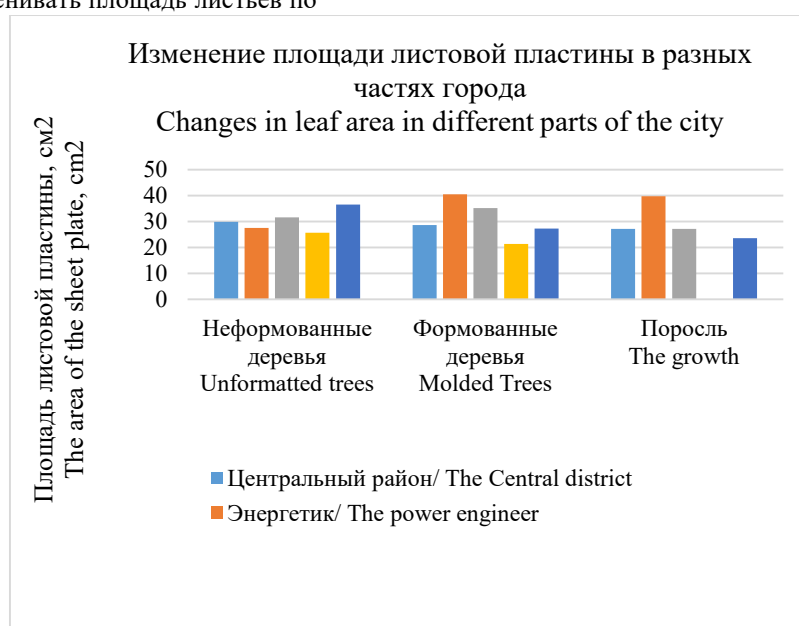


Рисунок 4 – Средняя площадь листовой пластины тополя бальзамического на территории города Братска  
Figure 4 – Average leaf area of the balsam poplar in the city of Bratsk

Источник: собственная композиция авторов  
Source: author's composition

Как видно из рисунка 3 площадь листовой пластинки существенно отличается от 27,5 см<sup>2</sup> до 40,5 см<sup>2</sup>. При этом нет выраженной зависимости площади листовых пластинок по частям города и категориям деревьев. Так, например, в жилом районе Энергетик площадь листьев формованных деревьев и поросли существенно выше, чем у неформованных деревьев (на 32,1% и 30,9% соответственно). На контрольном участке, наоборот, площадь листьев на неформованных деревьях выше, чем у формованных на 25,4% и на 35,5 % у поросли.

Асимметрия листовой пластины по площади согласно методике Е.В. Авдеевой, определяется как отношение площадей меньшей половины листа к большей, выраженное в процентах [18,19]. Асимметрия листовых пластин по площади для всей выборки определялась как среднее арифметическое значение.

В таблице 3 представлены показатели асимметричности листовых пластин тополя бальзамического согласно методике Е.В. Авдеевой по районам исследования, а также коэффициенты асимметрии левой и правой половинок листьев по площади (по методике Захарова).

Таблица 3

Процент асимметричности (числитель) и величина асимметрии листовых пластинок (знаменатель)

Table 3

Percentage of asymmetry (numerator) and the value of asymmetry of leaf blades (denominator)

Категории деревьев	Процент асимметричности, %/коэффициент асимметрии листовых пластинок по площади				
	Центральный район/ The Central district	Энергетик/ The power engineer	Гидростроитель / Hydraulic builder	Падун / Padun	Вихоревка (контроль)/ Vikhorevka (control)
Неформованные деревья Unformatted trees	29/0,015	70/0,015	55/0,029	24/0,026	40/0,018
Формованные деревья Molded Trees	34/0,015	64/0,018	52/0,012	48/0,026	28/0,018
Поросль The growth	31/0,018	35/0,069	32/0,027	-	20/0,018
Среднее значение по трем категориям деревьев The average value for the three tree categories	31,3/0,016	56,3/0,034	46,3/0,023	36,0/0,026	29,3/0,018

Источник: собственные вычисления авторов  
Source: author's calculation

Как видно из таблицы 3 процент асимметричности по методике Е.В. Авдеевой значительно отличается по частям города и категориям деревьев. Наибольший процент асимметричности площадей листовых пластинок отмечен в жилом районе Энергетик по всем категориям деревьев от неформованных до поросли (35% у поросли, 70% у неформованных деревьев. В ж. р. Падун у неформованных деревьев процент асимметричности составил 24%. По контролю процент асимметричности площади листовых пластинок формованных деревьев и поросли существенно меньше, чем в различных районах города и составил соответственно 28% и 20%.

Величина коэффициента асимметрии площадей листовых пластинок неформованных деревьев изменяется от 0,018 в Вихоревке (контроль) до 0,029 в Гидростроителе. В центральном районе и в Энергетике показатель асимметрии равен 0,015.

Средний процент асимметричности площадей листовых пластинок неформованных деревьев тополя бальзамического в центральном районе города Братска составила 29,0 %, формованных деревьев – 34,0%, поросли – 31,0%. Величина асимметрии площадей половинок листа изменяется от 0,015 до 0,069. В центральном районе и в Вихоревке показатель асимметрии равен 0,018.

Таблица 4

Оценка качества среды и стабильности развития по площадям половинок листовых пластин тополя бальзамического

Table 4

Assessment of the quality of the environment and the stability of development by the areas of the halves of the leaf plates of the poplar balsam

Места сбора листьев Gathering places list-ev	Среднее значение показателя асимметричности по всем категориям деревьев % Average value of the asymmetry index for all tree categories %	Оценка качества среды по методике Е.В. Авдеевой Environmental quality assessment according to E.V. Avdeeva's methodology
Падун/ Padun	36,0	Критическое состояние

		Critical condition
Энергетик/ The power engineer	56,3	Критическое состояние Critical condition
Центральный район/ The Central district	31,3	Критическое состояние Critical condition
Гидростроитель/ Hydraulic builder	46,3	Критическое состояние Critical condition
Вихоревка/ Vikhorevka	29,3	Критическое состояние Critical condition

Источник: собственные вычисления авторов  
Source: author's calculation

Как видно из таблицы 4, оценка качества среды по методике Е.В. Авдеевой свидетельствует о критическом состоянии среды или самих деревьев. Следующим этапом явилось определение стабильности развития листовых пластинок по методике В.М. Захарова [9,10].

На рисунках 5-7 представлены гистограммы значений ФА для различных категорий деревьев и районов города в сравнении с показателем критического показателя качества среды ФА >0,054.

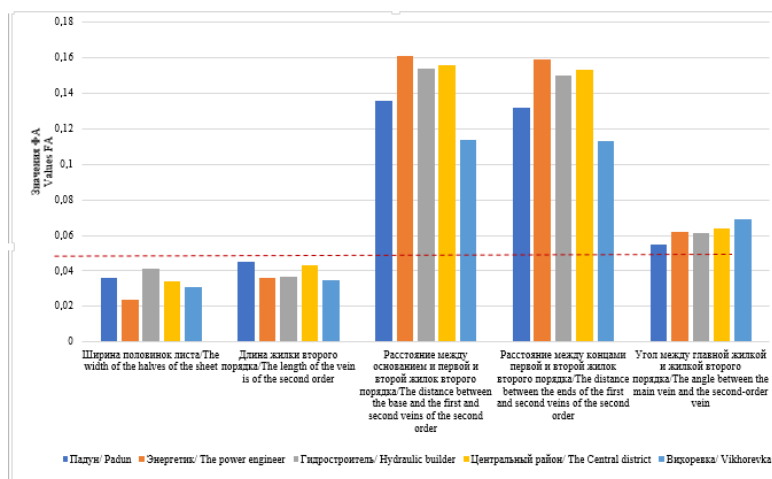


Рисунок 5 – Показатели стабильности развития неформованных деревьев тополя бальзамического по пяти билатеральным признакам в различных районах исследований.

Figure 5 – Indicators of the stability of the development of unformed balsam poplar trees according to five bilateral features in various research areas.

Источник: собственная композиция авторов  
Source: author's composition

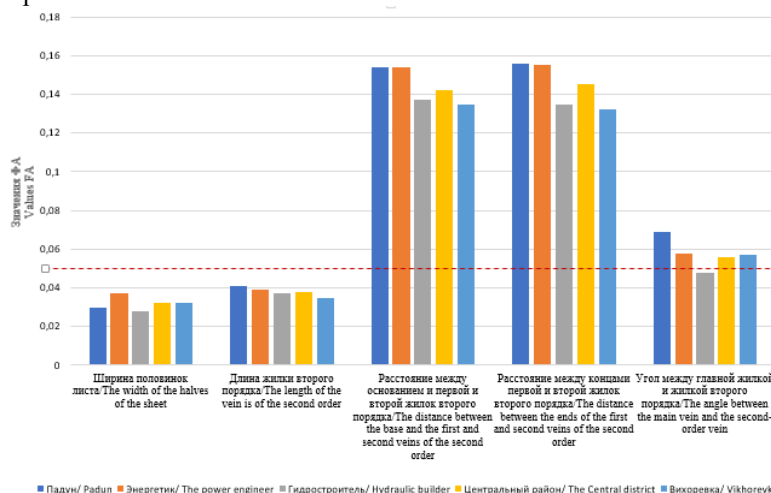


Рисунок 6 – Показатели стабильности развития формованных деревьев тополя бальзамического по пяти билатеральным признакам в различных районах исследований  
 Figure 6 – Indicators of the stability of the development of shaped balsam poplar trees according to five bilateral characteristics in various research areas

Источник: собственная композиция авторов  
 Source: author's composition

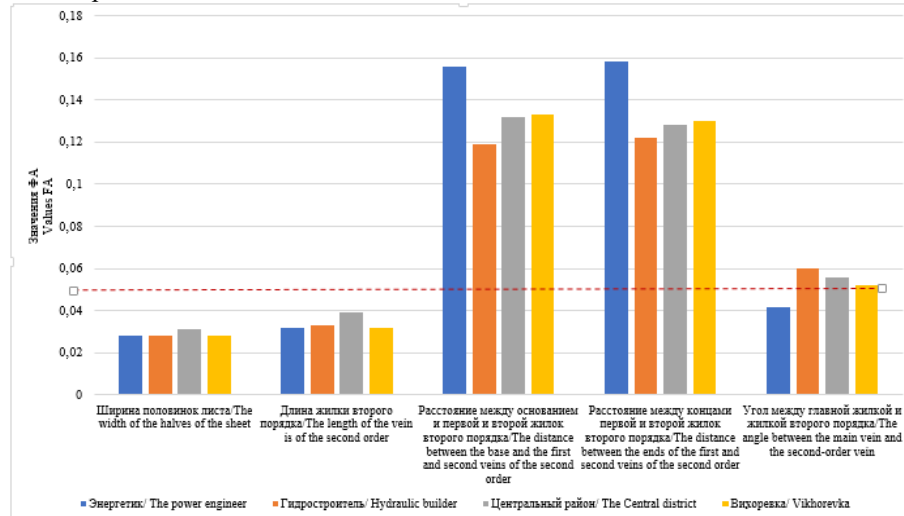


Рисунок 7 – Показатели стабильности развития поросли деревьев тополя бальзамического по пяти билатеральным признакам в различных районах исследований  
 Figure 7 – Indicators of the stability of the development of poplar trees in five bilateral features in various research areas

Источник: собственная композиция авторов  
 Source: author's composition

Как видно из рисунков 5-7 различные показатели дают существенно отличимые значения флуктуирующей асимметрии. Во всех районах исследования наименьшие значения ФА у ширины левой и правой половины листа и длины жилок второго порядка. Величина ФА по этим показателям находятся в диапазоне от 0,023 до 0,048. По данным признакам показатель стабильности развития находится в диапазоне условно-нормальное и начальное (с незначительным отклонением от нормы качества среды). Показатели флуктуирующей асимметрии по расстоянию между основанием первой и второй жилкой второго порядка и концами первой и второй жилкой второго порядка,

а также по углу между главной жилкой и жилкой второго порядка выше критического значения 0,054 (обозначено на гистограммах красной горизонтальной пунктирной линией). При этом расстояние между основанием и концами первой и второй жилки второго порядка слева и права сильно отличаются друг от друга и имеют значения ФА практически в два раза превышающие критическое состояние 0,054. При этом, показатели ФА по пяти билатеральным признакам мало зависят от категории деревьев и степени удаленности от источников загрязнения. В таблице 5 приведены средние значения показателя стабильности развития тополя бальзамического.

Таблица 5  
 Стабильность развития листовых пластин тополя бальзамического на территории г. Братска  
 Table 5

Stability of the balsam poplar leaf plate development in the territory of Bratsk			
Объекты исследования / Objects of research	Интегральный показатель стабильности развития / Integral indicator of development stability	Баллы / Scores	Качество среды / The quality of the environment
<i>Неформованные деревья / Unformed trees</i>			
Центральный район / The Central district	0,074	5	Критическое состояние / Critical condition

## Естественные науки и лес

Энергетик The power engineer	0,071	5	Критическое состояние Critical condition
Гидростроитель Hydraulic builder	0,073	5	Критическое состояние Critical condition
Падун Padun	0,068	5	Критическое состояние Critical condition
Вихоревка Vikhorevka	0,062	5	Критическое состояние Critical condition
<i>Формованные деревья/ Molded Trees</i>			
район The Central district	0,067	5	Критическое состояние Critical condition
Энергетик The power engineer	0,072	5	Критическое состояние Critical condition
Гидростроитель Hydraulic builder	0,063	5	Критическое состояние Critical condition
Падун Padun	0,074	5	Критическое состояние Critical condition
Вихоревка Vikhorevka	0,065	5	Критическое состояние Critical condition
<i>Поросль/ The growth</i>			
район The Central district	0,064	5	Критическое состояние Critical condition
Энергетик The power engineer	0,065	5	Критическое состояние Critical condition
Гидростроитель Hydraulic builder	0,060	5	Критическое состояние Critical condition
Вихоревка Vikhorevka	0,061	5	Критическое состояние Critical condition

Источник: собственные вычисления авторов  
Source: author's calculation

Как показывают результаты исследований, все категории деревьев по различным районам города отнесены к пятому баллу по шкале оценки

качества среды, что означает критическое состояние. В таблице 6 приведены статистические показатели проведенных измерений.

Таблица 6

Статистические показатели интегрального показателя стабильности тополя бальзамического по разным категориям деревьев в разных участках Братска

Table 6

Statistical indicators of the integral indicator of the balsam poplar stability in different categories of trees in different areas of Bratsk

Объект исследования The object of research	Среднее значение/ Average value, $\bar{X} \pm m$	Стандар тное отклонение/ Standard deviation, $\sigma$	Коэффициент Вариации/ Coefficient of variation, CV%	Точность/ Accuracy, P%

## Естественные науки и лес

<i>Неформованные деревья/ Unformed trees</i>						
район	Центральный The Central district	006	0,074±0,	0,026	36,30	5,74
	Энергетик The power engineer	001	0,071±0,	0,007	9,86	1,79
ль	Гидростроите Hydraulic builder	004	0,073±0,	0,023	31,51	5,72
	Падун Padun	007	0,068±0,	0,033	48,53	8,47
	Вихоревка Vikhorevka	003	0,062±0,	0,016	26,36	4,17
<i>Формованные деревья/ Molded Trees</i>						
район	Центральный The Central district	004	0,067±0,	0,019	28,36	5,51
	Энергетик The power engineer	006	0,072±0,	0,026	36,11	7,36
ль	Гидростроите Hydraulic builder	003	0,063±0,	0,017	26,98	3,84
	Падун Padun	007	0,074±0,	0,023	31,08	7,48
	Вихоревка Vikhorevka	004	0,065±0,	0,021	32,31	5,96
<i>Поросль/ The growth</i>						
район	Центральный The Central district	004	0,064±0,	0,024	37,50	7,30
	Энергетик The power engineer	003	0,065±0,	0,016	24,62	4,17
ль	Гидростроите Hydraulic builder	005	0,060±0,	0,025	41,67	7,68
	Вихоревка Vikhorevka	002	0,061±0,	0,014	22,95	3,62

Источник: собственные вычисления авторов  
Source: author's calculation

Как показывают данные статистической обработки полученных результатов исследований, коэффициент вариации колеблется от 9,86 до 48,53, точно также точность колеблется от 1,79 до 8,47 %. Причиной высокой вариации данных показателей можно объяснить тем, что степень ослабления деревьев в местах взятия проб отличались друг от друга. Полученные результаты были проверены по

критерию Колмогорова – Смирнова на соответствие нормальному распределению (таблица 7).

Полученные результаты исследований сопоставлены с данными 2023 года, когда в Иркутской области была впервые зафиксировано массовое поражение тополя бальзамического листовой ржавчиной тополя (таблица 7), которое

## Естественные науки и лес

начало проявляться в июле месяце. Исследования проводились в Центральном районе г. Братска, ж. р. Энергетик, а также в качестве контроля взяты листья

в поселке Порожский, находящийся на расстоянии 27 км от центральной части города (контроль).

Таблица 7

Результаты проверки на соответствие нормальному распределению

Table 7

Results of the normal distribution test

№ набл.	Среднее арифметическое	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Коэффициент вариации, %	Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса
Неформованные деревья						
320	0,074338	0,002367	0,048656	65,45166	2,215146	6,985595
Формованные деревья						
320	0,056230	0,001938	0,044019	78,28428	0,793041	0,149105
Поросль						
320	0,056041	0,001996	0,044677	79,72196	0,949662	0,731513

Как показывают результаты проверки, коэффициент асимметрии у различных категорий деревьев имеет положительную асимметрию, то есть данные имеют тенденцию к более высокому значению, при этом, наивысший коэффициент асимметрии проявляют измерения, полученные с неформованных деревьев. Коэффициент эксцесса, который показывает отклонение вершины вверх или вниз имеют положительные значения. Так как значения этого показателя выше 0, то мы имеем дело с высоко вершинным эксцессом распределения. Критерий Колмогорова – Смирнова подтверждает

гипотезу нормального распределения, так как критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d$  от 0,10 до 0,14,  $p > 0,2$ . Если  $D$  статистика Колмогорова-Смирнова значима ( $p < 0,05$ ), то гипотеза о том, что соответствующее распределение нормально, должна быть отвергнута. Для исследованных результатов  $p > 0,2$ , поэтому гипотеза о нормальности распределения принимается. Полученные результаты проверки на нормальность распределения требуют дополнительных исследований причин соответствия нормальному распределению.

Таблица 8

Результаты оценки стабильности развития тополя бальзамического в 2023 году

Table 8

Results of the assessment of the stability of the development of the balsam poplar in 2023

Район District	Категория деревьев Tree category	Интегральный показатель стабильности развития Integral indicator of development stability	Баллы Scores	Качество среды The quality of the environment
Порожский Porozhsky	Неформованные деревья/ Unformed trees	0,027	1	Условно-нормальное Conditionally normal
	Формованные деревья/ Molded Trees	0,030	1	Условно-нормальное Conditionally normal
	Поросль/ The growth	0,027	1	Условно-нормальное Conditionally normal
Энергетик The power engineer	Неформованные деревья/ Unformed trees	0,036	1	Условно-нормальное Conditionally normal
	Формованные деревья/ Molded Trees	0,041	2	Начальное (незначительное) отклонение от нормы Initial (minor) deviation from the norm

## Естественные науки и лес

	Поросль/ The growth	0,021	1	Условно-нормальное Conditionally normal
Центральный Central	Неформованные деревья/ Unformed trees	0,043	2	Начальное (незначительное) отклонение от нормы Initial (minor) deviation from the norm
	Формованные деревья/ Molded Trees	0,046	3	Средний уровень отклонения от нормы The average level of deviation from the norm
	Поросль/ The growth	0,022	1	Условно-нормальное Conditionally normal

Источник: собственные вычисления авторов  
Source: author's calculation

Как видно из таблицы 8 величина ФА в 2023 году была значительно ниже, чем в 2024 году как по категориям деревьев, так и по районам города.

На рисунке 8 показана гистограмма величины ФА в 2023 году.

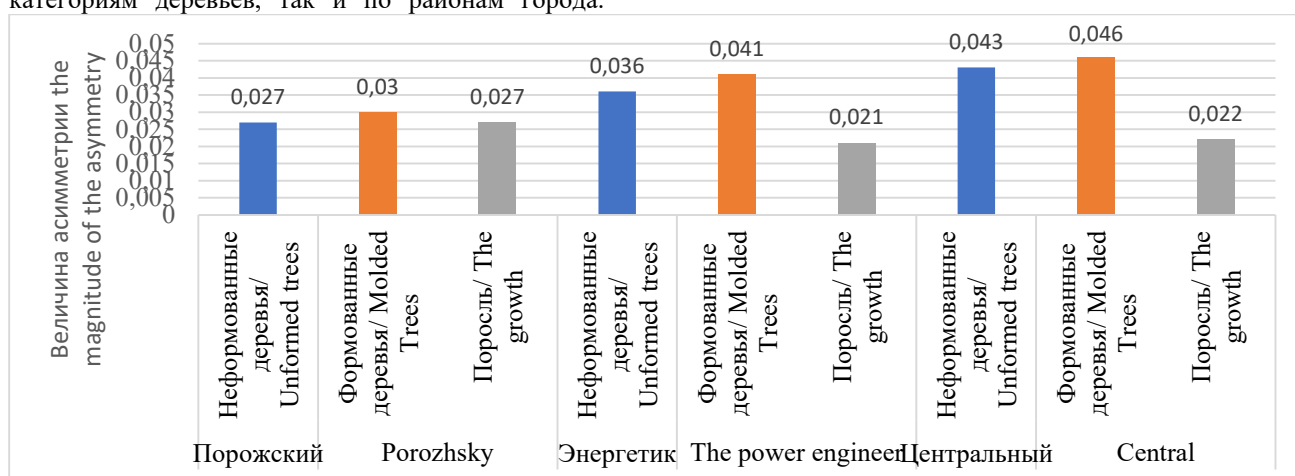


Рисунок 8 – Величины ФА в 2023 году  
Figure 8 – FA values in 2023

Источник: собственная композиция авторов  
Source: author's composition

Как можно видеть из таблицы 8, в 2023 году район Порожский (контроль) оказался наиболее благоприятным по качеству среды. Все категории деревьев отнесены по стабильности развития к 1 баллу, что означает условно нормальное качество среды. В Энергетике показатель стабильности растений у формованных деревьев оценен баллом 2, а в центральном районе, где находятся основные промышленные предприятия неформованные и формованные деревья оцениваются соответственно 2 и 3 баллом. Это означает, что за год общее состояние деревьев тополя бальзамического резко ухудшилось и в конце вегетационного периода 2024 году снизилось до критического состояния

### **Заключение**

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

1. Массовое поражение тополя бальзамического листовой ржавчиной (возбудитель *Melampsora larici-populina* Kleb.) и бурой пятнистостью (возбудитель *Marssonina populi* Sacc.) привело резкому ухудшению показателей стабильности развития деревьев.

2. В период с 2023-2024 годов к концу вегетационного периода, когда проводится исследование флуктуирующей асимметрии, наблюдается сильная дефолиация деревьев и

поражение листьев ржавчиной и бурой пятнистостью.

3. Площади половинок листа являются дополнительным критерием оценки стабильности развития и также свидетельствуют о критическом состоянии среды.

4. Исследования ФА билатеральных признаков листовых пластинок по 5 показателям (по методике В.М. Захарова) показали, что в 2024 году как формованные, неформованные деревья, так и поросль тополя бальзамического находятся в критическом состоянии вне зависимости от удаления от источников загрязнения. В 2023 году состояние стабильности развития колебалось от условно – нормального до среднего уровня отклонения от нормы.

5. Очевидно, что одним из факторов, оказывающих влияние на стабильность развития городских насаждений тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.), является фактор ослабления жизненного состояния деревьев под воздействием листовой ржавчины тополя и бурой пятнистости листьев, что приводит к потере декоративности растений, ранней дефолиации и потере симметрии в листовых пластинках.

### **Список литературы**

1. Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н. Древесные растения Азиатской России. – Новосибирск: Гео, 2012. – 707 с.
2. Runova E., Verkhoturov V., Anoshkina L. Assessment of the Condition of Balsam Poplar Trees (*Populus balsamifera* L.) in a Residential Area of Bratsk. *Acta silvae et Ligni*. 2021; 126:53–60.
3. Синчук Н.В., Курченко В.П. Устойчивость различных видов тополей (*Populus* spp.) к заболеваниям и комплексу вредителей // *Экобиотех.* – 2021. – Т. 4. – № 3. – С. 210–220.
4. Рунова Е.М., Новоселова О.И. Оценка состояния тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в условиях Братска по результатам инвентаризации // *Актуальные проблемы лесного комплекса.* – 2023. – № 63. – С. 236–240.
5. Латышева И.В., Лощенко К.А., Воложжина С.Ж. Климат и экология Иркутской области: учебное пособие. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2024. – 229 с.
6. Рунова Е.М., Новоселова О.И. Эпифитотийное развитие листовой ржавчины тополя бальзамического в городах Иркутской области // *J. of Agriculture and Environment.* – 2023. – № 12 (40). – DOI: 10.23649/JAE.2023.40.4
7. Сурина Т.А., Копина М.Б., Смирнова А.В. Ржавчина тополя, вызываемая грибами рода *Melampsora* // *Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории к практике: Материалы Третьей Всерос. конф. с междунар. участием.* Москва, 11–15 апреля 2022 г. – М.; Красноярск: Изд-во ИЛ СО РАН, 2022. – С. 134–136.
8. Поликсенова В.Д., Храмов А.К., Гирилович И.С. и др. Фитопатогенные микромицеты на чужеродных растениях из издания «Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения» // *Журнал Белорусского государственного университета. Биология.* – 2021. – № 3. – С. 78–87.
9. Захаров В.М., Шадрин Е.Г., Турмухаметова Е.Г. и др. 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. – С. 191–196. – DOI: 10.31857/S0002332920020113
10. Захаров В.М., Трофимов И.Е. Оценка состояния биоразнообразия: исследование стабильности развития // *Известия Российской академии наук. Серия биологическая.* – 2020. – № 2. – С. 115–123. – DOI: 10.31857/S0002332920020125

11. 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.
12. Чудновская Г.В., Чернакова О.В. Показатели стабильности развития *Populus balsamifera* L., участвующего в озеленении г. Иркутска // Вестник ИРГСХА. – 2021. – Вып. 3 (104). – С. 75–88. – DOI: 10.51215/1999-3765-2021-104-93-106
13. Лебединский И.А., Мочалова К.Ю. Площадь листовой пластинки как дополнительный критерий оценки выраженности флуктуирующей асимметрии по методике Захарова // Вестник ПГГПУ. Серия № 2. Физико-математические и естественные науки. – 2020. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ploschad-listovoy-plastinki-kak-dopolnitelnyy-kriteriy-otsenki-vyrazhennosti-fluktuiruyushey-asimmetrii-po-metodike-zaharova> (дата обращения: 02.03.2026)
14. Коротченко И.С., Лебедев Н.А., Первышина Г.Г., Кондратюк Т.А., Медведева В.А. Влияние выбросов тепловых электростанций Красноярского края на стабильность развития тополя бальзамического // Успехи современного естествознания. – 2020. – № 10. – С. 85–90.
15. Erofeeva E.A., Yakimov B.N. Change of Leaf Trait Asymmetry Type in *Tilia cordata* Mill. and *Betula pendula* Roth under Air Pollution. *Symmetry*. 2020; 12(5):727. – URL: <https://www.mdpi.com/2073-8994/12/5/727> (дата обращения: 20.09.2020)
16. Yu Z., Shen K., Newcombe G. et al. Leaf Cuticle Can Contribute to Non-Host Resistance to Poplar Leaf Rust. *Forests*. 2019; 10(10):870. – DOI: 10.3390/f10100870
17. Чудновская Г.В., Чернакова О.В. Особенности биомониторинга урбанизированных территорий с использованием флуктуирующей асимметрии разных видов древесных растений (на примере Иркутска) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2025. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-biomonitringa-urbanizirovannyh-territoriy-s-ispolzovaniem-fluktuiruyushey-asimmetrii-raznyh-vidov-drevesnyh-rasteniy> (дата обращения: 16.04.2026)
18. Черникова К.В., Авдеева Е.В. Оценка качества атмосферного воздуха методом биоиндикации по состоянию ассимиляционного аппарата тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. – 2022. – Т. 25. – С. 116–119.
19. Кухар И.В., Авдеева Е.В., Иванов Д.В., Черникова К.В. Дендроиндикация древесных растений в урбанизированной среде // Проблемы озеленения крупных городов: сборник статей XXII научно-практического форума. Москва, 29–30 августа 2023 года. – М.: МК-ИНТЕРТРЕЙД, ИНТЕК, 2023. – С. 109–112.
20. Шадрин Е.Г., Солдатова В.Ю. Оценка здоровья среды по величине флуктуирующей асимметрии древесных растений: анализ возможных причин искажения результатов // Известия РАН. Серия биологическая. – 2023. – № 7-suppl. – С. 29–38. – DOI: 10.31857/S1026347023600243
21. Рунова Е.М., Гарус И.А. Состояние тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) и тополя белого (*Populus alba* L.) в урбоэкосистемах Иркутской области // Лесной вестник / *Forestry Bulletin*. – 2025. – Т. 29. – № 5. – С. 149–163. – DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-149-163

### References

1. Koropachinsky I.Yu., Vstovskaya T.N. *Drevesnye rasteniya Aziatskoy Rossii*. [Woody Plants of Asian Russia]. Novosibirsk: Geo, 2012. 707 p. (In Russ.)
2. Runova E., Verkhoturov V., Anoshkina L. Assessment of the Condition of Balsam Poplar Trees (*Populus balsamifera* L.) in a Residential Area of Bratsk. *Acta silvae et Ligni*. 2021; 126:53-60.
3. Sinchuk N.V., Kurchenko V.P. *Ustoychivost razlichnykh vidov topoley (Populus spp.) k zabolevaniyam i kompleksu vrediteley*. [Resistance of Various Species of Poplars (*Populus* spp.) to Diseases and a Complex of Pests]. *Ekobiotech = Ecobiotech*. 2021; Vol. 4(3):210-220. (In Russ.)
4. Runova E.M., Novoselova O.I. *Otsenka sostoyaniya topolya balzamicheskogo (Populus balsamifera L.) v usloviyakh Bratska po rezultatam inventarizatsii*. [Assessment of the Condition of Balsam Poplar (*Populus balsamifera* L.) in Bratsk Based on Inventory Results]. *Aktualnye problemy lesnogo kompleksa = Actual Problems of the Forest Complex*. 2023; 63:236-240. (In Russ.)
5. Latysheva I.V., Loshchenko K.A., Vologzhina S.Zh. *Klimat i ekologiya Irkutskoy oblasti: uchebnoe posobie*. [Climate and Ecology of the Irkutsk Region: Textbook]. Irkutsk: IGU Publ., 2024. 229 p. (In Russ.)
6. Runova E.M., Novoselova O.I. *Epifitotnoye razvitie listovoy rzhavchiny topolya balzamicheskogo v gorodakh Irkutskoy oblasti*. [Epiphytic Development of Balsam Poplar Leaf Rust in the Cities of the Irkutsk Region]. *J. of Agriculture and Environment*. 2023; 12(40). DOI: 10.23649/JAE.2023.40.4 (In Russ.)
7. Surina T.A., Kopina M.B., Smirnova A.V. *Rzhavchina topolya, vyzyvaemaya gribami roda Melampsora*. [Poplar Rust Caused by Fungi of the Genus *Melampsora*]. In: *Monitoring i biologicheskie metody kontrolya vrediteley*

- i patogenov drevesnykh rasteniy: ot teorii k praktike. Materialy Tretyey Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem. Moscow, 2022. Moscow; Krasnoyarsk: IL SB RAS Publ., 2022. pp. 134-136. (In Russ.)
8. Poliksenova V.D., Khrantsov A.K., Girilovich I.S. et al. Fitopatogennye mikromitsety na chuzherodnykh rasteniyakh iz izdaniya «Chernaya kniga flory Belarusi: chuzherodnye vredonosnye rasteniya». [Phytopathological Micromycetes on Alien Plants from the Publication “The Black Book of the Flora of Belarus: Alien Harmful Plants”]. Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Journal of the Belarusian State University. Biology. 2021; 3:78-87. (In Russ.)
  9. Zakharov V.M., Shadrina E.G., Turmukhametova E.G. et al. Otsenka sostoyaniya rasteniy po stabilnosti razvitiya v estestvennykh i antropogennykh usloviyakh (fluktuiruyushchaya asimmetriya priznakov lista berezy povisloy *Betula pendula* L.). [Assessment of Plant Condition by Developmental Stability in Natural and Anthropogenic Environments (Fluctuating Asymmetry of Leaf Traits in Silver Birch *Betula pendula* L.)]. Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya biologicheskaya = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological Series. 2020; 2:191-196. DOI: 10.31857/S0002332920020113 (In Russ.)
  10. Zakharov V.M., Trofimov I.E. Otsenka sostoyaniya bioraznoobraziya: issledovanie stabilnosti razvitiya. [Assessment of Biodiversity State: A Study of Developmental Stability]. Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya biologicheskaya = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological Series. 2020; 2:115-123. DOI: 10.31857/S0002332920020125 (In Russ.)
  11. Metodicheskie rekomendatsii po vypolneniyu otsenki kachestva sredy po sostoyaniyu zhivyykh sushchestv (otsenka stabilnosti razvitiya zhivyykh organizmov po urovnyu asimmetrii morfologicheskikh struktur). [Methodological Recommendations for Assessing Environmental Quality by the State of Living Organisms (Assessment of Developmental Stability of Living Organisms by the Level of Asymmetry of Morphological Structures)]. Order of Rasecology No. 660 dated 16.10.2003. Moscow: Nauka, 2003. 24 p. (In Russ.)
  12. Chudnovskaya G.V., Chernakova O.V. Pokazateli stabilnosti razvitiya *Populus balsamifera* L., uchastvuyushchego v ozelenenii g. Irkutsk. [Indicators of Developmental Stability of *Populus balsamifera* L. Participating in the Greening of Irkutsk]. Vestnik IrGSKHA = Bulletin of Irkutsk State Agricultural Academy. 2021; 3(104):75-88. DOI: 10.51215/1999-3765-2021-104-93-106 (In Russ.)
  13. Lebedinsky I.A., Mochalova K.Yu. Ploshchad listovoy plastinki kak dopolnitelnyy kriteriy otsenki vyrazhennosti fluktuiruyushchey asimmetrii po metodike Zakharova. [Leaf Blade Area as an Additional Criterion for Assessing the Severity of Fluctuating Asymmetry According to the Zakharov Method]. Vestnik PGGPU. Seriya No. 2. Fiziko-matematicheskie i estestvennye nauki = Bulletin of Perm State Humanitarian Pedagogical University. Series No. 2. Physical, Mathematical and Natural Sciences. 2020; 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ploshchad-listovoy-plastinki-kak-dopolnitelnyy-kriteriy-otsenki-vyrazhennosti-fluktuiruyushchey-asimmetrii-po-metodike-zaharova> (accessed: 02.03.2026) (In Russ.)
  14. Korotchenko I.S., Lebedev N.A., Pervyshina G.G., Kondratyuk T.A., Medvedeva V.A. Vliyanie vybrosov teplovykh elektrostantsiy Krasnoyarskogo kraya na stabilnost razvitiya topolya balzamicheskogo. [Influence of Emissions from Thermal Power Plants of the Krasnoyarsk Region on the Developmental Stability of Balsam Poplar]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in Modern Natural Science. 2020; 10:85-90. (In Russ.)
  15. Erofeeva E.A., Yakimov B.N. Change of Leaf Trait Asymmetry Type in *Tilia cordata* Mill. and *Betula pendula* Roth under Air Pollution. *Symmetry*. 2020; 12(5):727. URL: <https://www.mdpi.com/2073-8994/12/5/727> (accessed: 20.09.2020)
  16. Yu Z., Shen K., Newcombe G. et al. Leaf Cuticle Can Contribute to Non-Host Resistance to Poplar Leaf Rust. *Forests*. 2019; 10(10):870. DOI: 10.3390/f10100870
  17. Chudnovskaya G.V., Chernakova O.V. Osobennosti biomonitoringa urbanizirovannykh territoriy s ispolzovaniem fluktuiruyushchey asimmetrii raznykh vidov drevesnykh rasteniy (na primere Irkutsk). [Features of Biomonitoring of Urbanized Territories Using Fluctuating Asymmetry of Different Woody Plant Species (Case Study of Irkutsk)]. Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki = Natural Resources of the Arctic and Subarctic. 2025; 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-biomonitoringa-urbanizirovannykh-territoriy-s-ispolzovaniem-fluktuiruyushchey-asimmetrii-raznykh-vidov-drevesnykh-rasteniy> (accessed: 16.04.2026) (In Russ.)
  18. Chernikova K.V., Avdeeva E.V. Otsenka kachestva atmosfernogo vozdukha metodom bioindikatsii po sostoyaniyu assimilyatsionnogo apparata topolya balzamicheskogo (*Populus balsamifera* L.). [Assessment of Atmospheric Air Quality by Bioindication Method According to the State of the Assimilation Apparatus of Balsam Poplar]. Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy = Fruit Growing, Seed Production, Introduction of Woody Plants. 2022; 25:116-119. (In Russ.)
  19. Kukhar I.V., Avdeeva E.V., Ivanov D.V., Chernikova K.V. Dendroindikatsiya drevesnykh rasteniy v urbanizirovannoy srede. [Dendroindication of Woody Plants in an Urban Environment]. In: Problemy

- ozeleneniya krupnykh gorodov: sbornik statey XXII nauchno-prakticheskogo foruma. Moscow, 2023. Moscow: MK-INTERTRADE, INTEK, 2023. pp. 109-112. (In Russ.)
20. Shadrina E.G., Soldatova V.Yu. Otsenka zdorovya sredy po velichine fluktuiruyushchey asimmetrii drevesnykh rasteniy: analiz vozmozhnykh prichin iskazheniya rezultatov. [Assessment of Environmental Health Based on the Fluctuating Asymmetry of Woody Plants: Analysis of Possible Causes of Distortion of Results]. Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological Series. 2023; 7-suppl:29-38. DOI: 10.31857/S1026347023600243 (In Russ.)
21. Runova E.M., Garus I.A. Sostoyanie topolya balzamicheskogo (*Populus balsamifera* L.) i topolya belogo (*Populus alba* L.) v urbanizirovannykh ekosistemakh Irkutskoy oblasti. [The State of Balsam Poplar (*Populus balsamifera* L.) and White Poplar (*Populus alba* L.) in the Urban Ecosystems of the Irkutsk Region]. Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin. 2025; 29(5):149-163. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-5-149-163 (In Russ.)

### **Сведения об авторах**

*Рунова Елена Михайловна* – доктор с.-х. наук, профессор, профессор базовой кафедры воспроизводства и переработки лесных ресурсов, ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», г. Братск, ул. Макаренко, 40, 665709, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6178-4038>, e-mail: [runova0710@mail.ru](mailto:runova0710@mail.ru).

*Пузанова Ольга Анатольевна* – кандидат с.-х. наук, доцент базовой кафедры воспроизводства и переработки лесных ресурсов, ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», г. Братск, ул. Макаренко, 40, 665709, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9681-5041>, e-mail: [puzanova-olga@rambler.ru](mailto:puzanova-olga@rambler.ru).

*Новоселова Ольга Ивановна* – аспирант доцент базовой кафедры воспроизводства и переработки лесных ресурсов, ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», г. Братск, ул. Макаренко, 40, 665709, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0913-2865>, e-mail: [novoselova.o.i@mail.ru](mailto:novoselova.o.i@mail.ru).

### **Information about the authors**

*Elena M. Runova* – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Basic Department of Reproduction and Processing of Forest Resources, Bratsk State University, 40 Makarenko Street, Bratsk, 665709, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6178-4038>, e-mail: [runova0710@mail.ru](mailto:runova0710@mail.ru).

*Olga A. Puzanova* – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Reproduction and Processing of Forest Resources, Bratsk State University, 40 Makarenko Street, Bratsk, 665709, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9681-5041>, e-mail: [puzanova-olga@rambler.ru](mailto:puzanova-olga@rambler.ru).

*Olga I. Novoselova* – is a postgraduate student and an associate professor at the Department of Reproduction and Processing of Forest Resources at Bratsk State University, 40 Makarenko Street, Bratsk, 665709, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0913-2865>, e-mail: [novoselova.o.i@mail.ru](mailto:novoselova.o.i@mail.ru).