

Леса России и хозяйство в них. 2023. № 3. С. 14–20.

Forests of Russia and economy in them. 2023. № 3. P. 14–20.

Научная статья

УДК 574.3

DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.002

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СРЕДЫ В ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОСАХ

Павел Николаевич Уразов<sup>1</sup>, Анастасия Владимировна Демидова<sup>2</sup>,  
Алина Флоритовна Уразова<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> gold-pashka@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4150-2555>

<sup>2</sup> dnastay03@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3531-175X>

<sup>3</sup> urazovaaf@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2771-2334>

**Аннотация.** С индустриальным развитием регионов увеличивается и техногенная нагрузка на экосистемы. Такую нагрузку на лесную экосистему в Свердловской области оказывает Свердловская железная дорога. Железная дорога влияет на придорожные лесные полосы, ухудшая их санитарное состояние. Это указывает на необходимость оценки и контроля за их состоянием.

В целях мониторинга за состоянием насаждений вдоль железнодорожных путей можно использовать простые, но эффективные методы биоиндикации, в частности на основе флуктуирующей асимметрии листовой пластинки. С помощью этого метода была проведена оценка состояния защитных лесных насаждений березы повислой (*Betula pendula* Roth.) на участках пути Свердловской железной дороги Екатеринбург – Каменск-Уральский. Для исследования были выбраны три участка – 28-й, 51-й и 53-й километры пути.

На основании полученных данных была сделана оценка качества. Исследование показало, что уровень флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth.) чувствителен к действию загрязнений от железной дороги. Спектр загрязнения защитных лесных насаждений вдоль железной дороги промышленными поллютантами разнообразен. Об этом свидетельствуют результаты исследования. В процессе работы выявлено, что защитные лесные полосы на 51-м километре пути железной дороги Екатеринбург – Каменск-Уральский имеют уже критический балл экологического состояния. В целом состояние защитных лесных полос характеризуется относительно однородным уровнем со значительными отклонениями от нормы показателей флуктуирующей асимметрии березы повислой (*Betula pendula* Roth.) – 0,046–0,053. Это указывает на необходимость дальнейшего контроля за состоянием защитных лесных полос.

**Ключевые слова:** защитные лесные полосы, береза повислая (*Betula pendula* Roth.), флуктуирующая асимметрия, интегральный показатель асимметрии, биоиндикация, качество среды

**Для цитирования:** Уразов П. Н., Демидова А. В., Уразова А. Ф. Использование метода флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой для оценки качества среды в защитных лесных полосах // Леса России и хозяйство в них. 2023. № 3 (86). С. 14–20. DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.002.

Scientific article

## USING THE METHOD OF FLUCTUATING ASYMMETRY OF HANGING BIRCH LEAVES TO ASSESS THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT IN PROTECTIVE FOREST STRIPS

Pavel N. Urazov<sup>1</sup>, Anastasia V. Demidova<sup>2</sup>, Alina F. Urazova<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> gold-pashka@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4150-2555>

<sup>2</sup> dnastay03@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3531-175X>

<sup>3</sup> urazovaaf@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2771-2334>

**Abstract.** With the industrial development of the regions, the anthropogenic load on ecosystems is also increasing. Such a load on the forest ecosystem in the Sverdlovsk region is exerted by the Sverdlovsk Railway. The railway affects roadside forest strips, worsening their sanitary condition. This indicates the need to assess and monitor their condition.

In order to monitor the condition of plantings along railway tracks, simple but effective bioindication methods can be used, in particular, based on the fluctuating asymmetry of the leaf blade. With the help of this method, the assessment of the state of protective forest stands of hanging birch (*Betula pendula* Roth.) on the sections of the Yekaterinburg – Kamensk-Uralsky railway of the Sverdlovsk Railway was carried out. Three sections were selected for the study – 28, 51 and 53 kilometers of the way.

Based on the data obtained, a quality assessment was made. The study showed that the level of fluctuating asymmetry of the leaves of the hanging birch (*Betula pendula* Roth.) is sensitive to the effects of pollution from the railway. The spectrum of contamination of protective forest stands along the railway by industrial pollutants is diverse. This is evidenced by the results of the study. In the course of the work, it was revealed that the protective forest strips on 51 kilometers of the Yekaterinburg – Kamensk-Uralsky railway track already have a critical score of ecological condition. In general, the condition of protective forest strips is characterized by a relatively uniform level with significant deviations from the norm of the fluctuating asymmetry of the hanging birch (*Betula pendula* Roth.) – 0.046–0.053. This indicates the need for further monitoring of the condition of protective forest strips.

**Keywords:** protective forest strips, hanging birch (*Betula pendula* Roth.), fluctuating asymmetry, integral indicator of asymmetry, bioindication, environmental quality

**For citation:** Urazov P. N., Demidova A. V., Urazova A. F. Using the method of fluctuating asymmetry of hanging birch leaves to assess the quality of the environment in protective forest strips // Forests of Russia and economy in them. 2023. № 3 (86). P. 14–20. DOI: 10.51318/FRET.2023.3.86.002.

### Введение

В последние десятилетие экологическая обстановка приобретает особое значение в обеспечении качества жизни (Жилищно-коммунальное хозяйство..., 2017). К сожалению, в индустриально развитых регионах сложно поддерживать благоприятную экологическую обстановку. Важная роль в улучшении экологической обстановки принадлежит лесным насаждениям. Они вырабатывают

кислород и очищают воздух от вредных загрязнителей, снижают уровень шума на окружающую среду и человека. Но также лесные насаждения страдают от антропогенного влияния.

Свердловская железная дорога является одним из крупнейших территориальных филиалов ОАО «РЖД», обслуживает железнодорожную инфраструктуру Урала и Западной Сибири и, к сожалению, вносит определенный негативный вклад

в экологическую обстановку региона, являясь источником неблагоприятных химических, физических и биологических факторов. Поскольку большинство продуктов выбросов транспортных средств не разлагаются ни биологически, ни химически, они могут негативно влиять на рост растений и экосистем (Влияние..., 2023).

Вдоль железных дорог для их защиты от неблагоприятных природных явлений высаживают защитные лесные полосы (ЗЛП). Они защищают линейные объекты, которыми являются железные дороги, от неблагоприятного воздействия, мешающего их функционированию. Но, как говорилось выше, железнодорожная инфраструктура оказывает на защитные лесные насаждения негативное влияние.

В таком случае крайне необходима оценка стабильности биологических систем. И это диктует необходимость в мониторинге состояния окружающей среды и различных ее компонентов. Наиболее чувствительны к тем или иным изменениям среды виды-индикаторы (Рассадина, 2007).

Индикаторами степени загрязненности окружающей среды (биоиндикаторами) могут служить различные виды живых организмов, в том числе деревья, произрастающие вдоль железнодорожных линий. ЗЛП вдоль линейных объектов являются отличным «поглотителем» всех загрязняющих веществ, поступающих от подвижного состава (Матвеева, 2009). В целях мониторинга за состоянием насаждений вдоль путей можно использовать простые, но эффективные методы биоиндикации, в частности на основе флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth.). Под флуктуирующей асимметрией понимают отклонения от идеальной симметрии морфологических признаков, которые вызваны в том числе стрессами окружающей среды. Появление асимметрии или уменьшение площади листовой пластины происходит под воздействием антропогенных факторов (Залесов и др., 2017; Бачурина, Куликова, 2019). Они характеризуют мелкие нарушения стабильности развития организма, вызванные состоянием окружающей среды. Благодаря анализу величины флуктуирующей асимметрии можно оценить состояние придорожных защитных полос.

### Цель, задача, методика и объекты исследования

Целью исследования являлась оценка качества среды в придорожных ЗЛП вдоль участка Свердловской железной дороги методом флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth.).

Объектами исследований были выбраны посадки березы повислой (*Betula pendula* Roth.), нашедшие широкое применение в оценке состояния окружающей среды (Здоровье..., 2000). Отобранные деревья произрастают на различных участках пути Екатеринбург – Каменск-Уральский – 28-м, 51-м и 53-м километрах. Участки находятся на территории Белоярского городского округа. 28-й километр располагается в непосредственной близости к д. Поварня, а 51-й, 53-й – около д. Логиново. Древесная растительность на этих участках в основном представлена березой повислой. Деревья в данных рядовых посадках характеризуются различным возрастом (от 70 до 80 лет), расстоянием между рядами (от 3 до 5 м).

Основным источником загрязнения атмосферного воздуха на данных участках являются выхлопные газы дизельных двигателей локомотивов и токсичные вещества, выделяемые тепловыми электростанциями, производящими электроэнергию для электротранспорта, а также предприятиями по производству и ремонту подвижного состава.

Самые большие загрязнители: сажа, оксиды углерода, сера и азот, углеводороды, свинец. Накопление этих веществ в воздухе приводит к значительному ущербу для растительности (кислотные дожди), а также для здоровья человека (смог).

Согласно методике для оценки антропогенной нагрузки, на участках был произведен сбор листьев с учетных деревьев равномерно по окружности нижней части кроны в количестве по 20 шт. (рис. 1). Сорванные листья упаковывались в конверты и маркировались. Количество учетных деревьев на пробных участках принималось равным десяти. Общее количество учетных деревьев составило 30 шт., с которых собрано 600 листьев. Сбор производился после прекращения массового роста листьев в сентябре 2022 г. Измерения проводились сразу после сбора.

Для оценки стабильности развития деревьев у каждого листа были сняты пять морфологических показателей с помощью линейки и транспортира, как показано на рис. 2. Схема замеров для определения показателя флуктуирующей асимметрии: 1 – ширина половинки листа; 2 – длина второй от основания листа жилки второго порядка; 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; 4 – расстояние между концами этих жилок; 5 – угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка.

Первые четыре параметра снимались линейкой, угол между жилками измерялся транспортиром. Длину жилок и расстояние между ними измеряли с точностью до 0,1 мм, угол прикрепления второй жилки к основной – с точностью до 0,5°.

После замеров вычислялась величина асимметричности каждого признака для каждого обмеренного листа  $Y$ . Для этого разность значений по одному признаку, измеренному слева  $X_L$  и справа  $X_R$ , делят на сумму значений этих же признаков:

$$Y = \frac{X_L - X_R}{X_L + X_R}$$

Подобные вычисления производились по каждому признаку. В результате получалось 5 значений  $Y$  для одного листа. Такие же расчеты производились для каждого листа в отдельности.

Затем устанавливалась величина асимметрии каждого листа  $Z$ . Для этого сумму относительных различий по всем признакам надо разделить на число признаков  $N$ :

$$Z = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5}{N}$$

Эти расчеты производились для каждого листа.

И последним вычислялось среднее относительное различие на признак для выборки  $X$ . Для этого все значения асимметрии каждого листа складывались  $\sum Z$  и делились на число этих значений  $n$ :

$$X = \frac{\sum Z}{n}$$

Полученное значение округлялось до третьего знака после запятой.

Этот показатель характеризует степень асимметричности организма.

Для каждого из участков наблюдения определялись интегральный показатель флуктуирующей

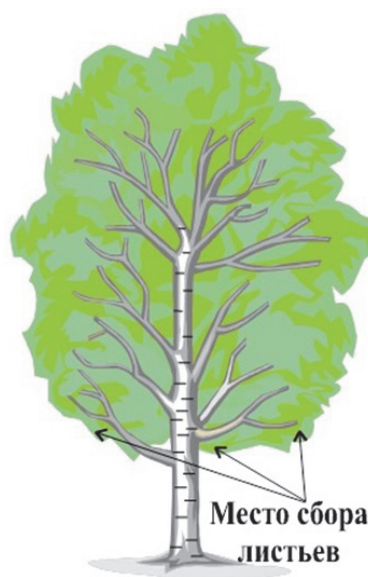


Рис. 1. Место сбора листьев на кроне дерева  
Fig. 1. Place of collection of leaves on the crown of a tree

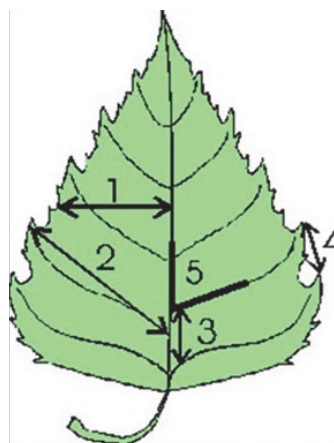


Рис. 2. Схема замеров листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) для определения показателей флуктуирующей асимметрии  
Fig. 2. Diagram of measurements of the leaf blade of the hanging birch (*Betula pendula* Roth.) to define indicators fluctuating asymmetry

асимметрии и балл согласно шкале оценки отклонений состояния организма от условий нормы по величине интегрального показателя стабильности развития для березы повислой (Здоровье..., 2000). Диапазон между этими пороговыми уровнями ранжируется в порядке возрастания значений показателя: I балл (до 0,040), II (0,040–0,044), III (0,045–0,049), IV (0,050–0,054), V балл (более 0,054). По мере увеличения значения балла качество среды ухудшается. Так, если I балл соответствует условной норме, то при V балле условия среды характеризуются как критические.

### Результаты исследования

Интегральные показатели стабильности развития каждого участка и зависимость интегрального показателя асимметрии листьев березы повислой на обследованных участках представлены в таблице.

Материалы таблицы свидетельствуют, что качество окружающей среды Белоярского городского округа и его окрестностей не соответствует норме. Состояние среды на 53-м километре пути оценивается как среднее (III балл), на 28-м километре – близко к критическому (IV балл), на 51-м – как критическое (V балл). Это доказывает, что экологическая ситуация на данных участках соответствует явному неблагоприятному воздействию, и такие изменения приводят к ухудшению санитарного состояния насаждения (Уразова, Герц, 2022).

Использование метода определения состояния окружающей среды по асимметрии листовых пластинок березы повислой позволяет оперативно без дорогостоящих приборов определить экологическую обстановку, осуществлять экологический мониторинг за состоянием окружающей среды. Уникальность метода наряду с простотой применения объясняется возможностью его использования при наличии различных видов негативного антропогенного воздействия на окружающую среду.

Для того чтобы повысить устойчивость и долговечность насаждений в ЗЛП, необходимо проводить следующие лесоводственные мероприятия: выполнять реконструктивные работы в разрушенных рядах, защищать насаждение от вредителей и болезней.

Расчитанные интегральные показатели флуктуирующей асимметрии листовых пластинок  
Calculated integral indicators of fluctuating asymmetry of leaf blades

Участок Region	Возраст, лет Age, years	Интегральный показатель асимметрии Integral indicator of asymmetry	Балл состояния (по В. М. Захарову) Status score (according to V. M. Zakharov)	Значение стабильности развития The importance of development stability
28 км (km)	81	0,053	4	Значительное отклонение от нормы Significant deviation from the norm
51 км (km)	71	0,058	5	Критическое состояние Critical condition
53 км (km)	71	0,046	3	Средний уровень отклонения от нормы The average level of deviation from the norm

### Выводы

Расчет интегральных показателей флуктуирующей асимметрии березы повислой (*Betula pendula* Roth.) позволяет получить продуктивную оценку качества среды на трех участках пути железной дороги Екатеринбург – Каменск-Уральский. Общее состояние среды оценивается от среднего до критического.

Проведенные исследования показали, что метод флуктуирующей асимметрии листовой пластины березы повислой можно использовать для изучения состояния насаждений в условиях длительного воз-

действия железнодорожного транспорта на прилегающие территории, так как на ЗЛП возложена важная функция защиты прилегающих территорий не только от неблагоприятных природных явлений, но и от всех видов техногенного воздействия.

В целях повышения точности оценки состояния деревьев в искусственных насаждениях березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в ЗЛП необходимо проводить многолетний мониторинг для более полной картины и оценки качества состояния среды в условиях воздействия железнодорожного транспорта.

## Список источников

- Бачурина А. В., Куликова Е. А.* Оценка качества среды на территории г. Новотроицка Оренбургской области по состоянию березы повислой // Леса России и хозяйство в них. 2019. № 2 (69). С. 30–37.
- Влияние железнодорожного транспорта на природу // Экология жизни. 2021. URL: <https://ecoplanet777.com/vliyanie-zheleznodorozhnogo-transporta-na-prirodu/> (дата обращения: 10.04.2023).
- Жилищно-коммунальное хозяйство и качество жизни в XXI веке: экологические модели, новые технологии и практики управления : монография / *Я. П. Силин, Г. В. Астратова* [и др.]. М. : Науковедение, 2017. 600 с.
- Залесов С. В., Бачурина А. В., Шевелина А. О.* Оценка стабильности состояния березы на различном удалении от ОАО «Уфалейникель» // Леса России и хозяйство в них. 2017. № 1 (64). С. 21–27.
- Здоровье среды: методика оценки / *В. М. Захаров, А. С. Баранов, В. И. Борисов, А. В. Валецкий, Н. Г. Кряжева, Е. К. Чистякова, А. Т. Чубинишвили*. М. : Центр экологической политики России, 2000. 68 с.
- Матвеева А. А.* Состояние и экологическая роль защитных лесных насаждений вдоль железных дорог (в пределах г. Волгограда) : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Матвеева Анна Александровна. Волгоград, 2009. 22 с.
- Рассадина Е. В.* Биоиндикация и ее место в системе мониторинга окружающей среды // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2007. № 2. С. 48–53.
- Уразова А. Ф., Герц Э. Ф.* Состояние защитных лесных полос железных дорог и их пожарная безопасность // Успехи современного естествознания. 2022. № 4. С. 35–41.

## References

- Bachurina A. V., Kulikova E. A.* Assessment of environmental quality in the territory of Novotroitsk, Orenburg region on the condition of the overhanging birch // Forests of Russia and management in them. 2019. № 2 (69). P. 30–37. (In Russ.)
- Environmental health: assessment methodology / *V. M. Zakharov, A. S. Baranov, V. I. Borisov, A. V. Valetsky, N. G. Kryazheva, E. K. Chistyakova, A. T. Chubinishvili*. Moscow : Center for Russian Environmental Policy, 2000. 68 p. (In Russ.)
- Housing and communal economy and the quality of life in the XXI century: ecological models, new technologies and management practices : monograph / *Ya. P. Silin, G. V. Astratova* [et al.]. Moscow : Naukovedenie, 2017. 600 p. (In Russ.)
- Matveeva A. A.* State and ecological role of protective forest plantations along railroads (within Volgograd): thesis abstract for the degree of candidate of agricultural sciences / Matveeva Anna Alexandrovna. Volgograd, 2009. 22 p. (In Russ.)
- Rassadina E. V.* Bioindication and its place in the system of environmental monitoring // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2007. P. 48–53. (In Russ.)
- The impact of rail transport on nature // Ecology of Life. URL: <https://ecoplanet777.com/vliyanie-zheleznodorozhnogo-transporta-na-prirodu/> (accessed: 10.04.2023).
- Urazova A. F., Hertz E. F.* State of protective forest belts of railroads and their fire safety // Advances in Modern Natural Science. 2022. № 4. P. 35–41. (In Russ.)
- Zalesov S. V., Bachurina A. V., Shevelina A. O.* Assessment of the stability of the birch at different distances from Ufaleynickel OJSC // Forests of Russia and the economy in them. 2017. № 1 (64). P. 21–27. (In Russ.)

## *Информация об авторах*

*П. Н. Уразов – аспирант;*

*А. В. Демидова – магистрант;*

*А. Ф. Уразова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент.*

## *Information about the authors*

*P. N. Urazov – Postgraduate student;*

*A. V. Demidova – Master's student;*

*A. F. Urazova – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor.*

*Статья поступила в редакцию 11.04.2023; принята к публикации 10.05.2023.*

*The article was submitted 11.04.2023; accepted for publication 10.05.2023.*

---

---