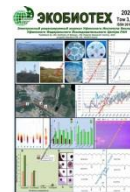




# ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

http://ecobiotech-journal.ru



## МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛИСТЬЕВ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ АДАПТИВНОСТИ *BETULA PENDULA* ROTH К ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫМ УСЛОВИЯМ

Тагирова О.В.

Башкирский государственный педагогический университет  
им. М. Акмуллы, Уфа (Россия)  
E-mail [olecyi@mail.ru](mailto:olecyi@mail.ru)

Представлены результаты исследований 2019 года, которые были выполнены на территории Уфимского промышленного центра в контрастных лесорастительных условиях. На одной и той же пробной площади у одного и того же вида растений может быть сходная форма листьев, но разные размеры (крупнолистные деревья и мелколистные). В данной работе представлены результаты исследований крупнолистных деревьев. Определили интегральные показатели асимметрии листовых пластин березы повислой, провели дисперсионный анализ по пяти признакам. Определили, что июль месяц является наиболее информативным. Именно в этот период с помощью критерия Фишера были выявлены различия по трем признакам: 1-ый признак (ширина половинок листа), 3-ий признак (расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка); 4-ый признак (расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка). Полученные результаты свидетельствуют о сезонной динамике показателей флуктуирующей асимметрии листьев деревьев березы повислой. Это необходимо учитывать при проведении мониторинга состояния окружающей среды.

*Ключевые слова:* флуктуирующая асимметрия, изменчивость, интегральный показатель, береза повислая, промышленный центр

## MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF LEAVES AS AN INDICATOR OF *BETULA PENDULA* ROTH ADAPTABILITY TO EXTREME FOREST CONDITIONS

Tagirova O.V.

M. Akmulla Bashkir State Pedagogical University,  
Ufa (Russia)  
E-mail [olecyi@mail.ru](mailto:olecyi@mail.ru)

The results of research in 2019, which were performed on the territory of the Ufa industrial centre in contrasting forest conditions, are presented. On the same sample area, the same plant species may have a similar leaf shape, but different sizes (large-leaved trees and small-leaved trees). This paper presents the results of research on large-leaved trees. We determined the integral parameters of asymmetry of birch leaf plates and performed a dispersion analysis based on five characteristics. We determined that July is the most informative month. It was during this period that the Fisher test revealed differences in three features: the 1st feature (width of the leaf halves), the 3rd feature (distance between the bases of the first and second veins of the second order), and the 4th feature (distance between the ends of the first and second veins of the second-order). The obtained results indicate the seasonal dynamics of indicators of fluctuating asymmetry of leaves of hanging birch trees. This results should be taken into account when monitoring the state of the environment.

*Keywords:* fluctuating asymmetry, variability, integral indicator, hanging birch, industrial center

*Поступила в редакцию:* 25.09.2020

DOI: [10.31163/2618-964X-2020-3-4-680-689](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2020-3-4-680-689)

## ВВЕДЕНИЕ

Внутривидовая изменчивость представляет интерес. Многочисленные исследования [Шварц, 1963; Мамаев, 1973] в этом направлении позволяют сделать вывод о том, что изменчивость является способностью популяции противостоять неблагоприятным факторам, приспособительно реагировать на внешние проявления среды. Изучение различных форм внутривидовой изменчивости способствует познанию путей приспособления вида к изменяющимся условиям окружающей среды [Шварц, 1963].

Одним из наиболее удобных подходов интегральной характеристики качества среды является оценка состояния живых организмов по стабильности развития, которая характеризуется уровнем флуктуирующей асимметрии морфологических структур [Van Valen, 1962; Klingenberg, McIntyre, 1998; Захаров и др., 2000; Graham et al., 2003].

На одной и той же пробной площади у одного и того же вида растений может быть сходная форма листьев, но разные размеры (крупнолистные деревья и мелколистные). В данной работе представлены результаты исследований крупнолистных деревьев.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Представлены результаты исследований 2019 года. Были выполнены на территории Уфимского промышленного центра. Выделено было два модельных дерева березы повислой. Одно дерево в условиях максимального нефтехимического воздействия - постоянная пробная площадь 1 (ПП1), другое дерево - в условиях постоянного рекреационного воздействия - постоянная пробная площадь 11 (ПП11). Деревья крупнолистные. На каждом дереве пронумеровали по 10 листьев. В течение вегетационного периода были сняты промеры с каждого листа [Кулагин, Тагирова, 2014; Кулагин, Тагирова, 2015].

Цель исследований – выявление особенностей флуктуирующей асимметрии листьев деревьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в течение вегетационного периода в контрастных лесорастительных условиях.

Объект исследования - береза повислая, вид с большим ареалом распространения.

Был использован метод изучения морфологических признаков, используемых для оценки стабильности развития древесных насаждений [Захаров и др., 2000; Cornelissen et al., 2003; Graham et al., 2010; Graham et al., 2015].

Исходным материалом для оценки стабильности развития в соответствии с принятыми методами проводились измерения листьев березы правой и левой половинок листа по 5-ти признакам:

- 1 признак - ширина левой и правой половинок листа;
- 2-й признак - длина жилки второго порядка от основания листа;
- 3-й признак – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка;
- 4-й признак - расстояние между концами этих жилок;
- 5-й признак – угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка.

Статистическая обработка результатов исследований производилась в программах: STATISTICA, GraphPad Prism, Microsoft Excel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Наибольший интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой по первому признаку был выявлен на ПП1 (табл. 1) в июле месяце (величина равна 0,202). Наименьший интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой был выявлен как на ПП1 в сентябре (величина асимметрии равна 0,006), так и на ПП11 в июне, июле и в августе (соответственно 0,005, 0,003, 0,006) (табл. 1).

**Таблица 1. Интегральные показатели асимметрии листовых пластин березы повислой (крупнолистные деревья) на ПП1 и ПП11 2019 г.**

| июнь             |       | июль  |       | август |       | сентябрь |       |
|------------------|-------|-------|-------|--------|-------|----------|-------|
| ПП1              | ПП11  | ПП1   | ПП11  | ПП1    | ПП11  | ПП1      | ПП11  |
| <b>1 признак</b> |       |       |       |        |       |          |       |
| 0,023            | 0,094 | 0,056 | 0,056 | 0,019  | 0,042 | 0,027    | 0,019 |
| 0,026            | 0,077 | 0,014 | 0,057 | 0,015  | 0,080 | 0,006    | 0,054 |
| 0,051            | 0,005 | 0,041 | 0,009 | 0,042  | 0,028 | 0,039    | 0,019 |
| 0,085            | 0,132 | 0,046 | 0,019 | 0,054  | 0,008 | 0,032    | 0,071 |
| 0,047            | 0,029 | 0,012 | 0,003 | 0,070  | 0,008 | 0,023    | 0,068 |
| 0,027            | 0,041 | 0,016 | 0,050 | 0,035  | 0,043 | 0,116    | 0,058 |
| 0,040            | 0,115 | 0,089 | 0,026 | 0,078  | 0,006 | 0,094    | 0,009 |
| 0,133            | 0,034 | 0,202 | 0,008 | 0,117  | 0,045 | 0,109    | 0,091 |
|                  | 0,042 |       | 0,061 |        | 0,080 |          | 0,116 |
| <b>2 признак</b> |       |       |       |        |       |          |       |
| 0,002            | 0,001 | 0,018 | 0,088 | 0,012  | 0,030 | 0,004    | 0,033 |
| 0,011            | 0,019 | 0,023 | 0,023 | 0,028  | 0,006 | 0,016    | 0,008 |
| 0,011            | 0,001 | 0,014 | 0,012 | 0,014  | 0,004 | 0,015    | 0,002 |
| 0,054            | 0,023 | 0,019 | 0,039 | 0,023  | 0,018 | 0,018    | 0,010 |
| 0,035            | 0,018 | 0,022 | 0,006 | 0,015  | 0,007 | 0,033    | 0,005 |
| 0,011            | 0,001 | 0,002 | 0,005 | 0,015  | 0,003 | 0,000    | 0,012 |
| 0,032            | 0,021 | 0,041 | 0,021 | 0,047  | 0,018 | 0,054    | 0,014 |
| 0,125            | 0,023 | 0,109 | 0,024 | 0,104  | 0,013 | 0,112    | 0,027 |
|                  | 0,033 |       | 0,034 |        | 0,014 |          | 0,039 |
| <b>3 признак</b> |       |       |       |        |       |          |       |
| 0,137            | 0,058 | 0,120 | 0,069 | 0,106  | 0,062 | 0,138    | 0,117 |
| 0,188            | 0,089 | 0,227 | 0,101 | 0,052  | 0,095 | 0,146    | 0,102 |
| 0,147            | 0,130 | 0,231 | 0,075 | 0,195  | 0,072 | 0,127    | 0,042 |
| 0,045            | 0,088 | 0,037 | 0,061 | 0,032  | 0,127 | 0,049    | 0,128 |
| 0,216            | 0,012 | 0,182 | 0,066 | 0,187  | 0,068 | 0,235    | 0,116 |
| 0,223            | 0,052 | 0,261 | 0,024 | 0,256  | 0,019 | 0,204    | 0,010 |
| 0,165            | 0,008 | 0,131 | 0,033 | 0,156  | 0,065 | 0,085    | 0,039 |
| 0,122            | 0,042 | 0,127 | 0,017 | 0,109  | 0,016 | 0,104    | 0,016 |
|                  | 0,062 |       | 0,024 |        | 0,088 |          | 0,058 |
| <b>4 признак</b> |       |       |       |        |       |          |       |
| 0,056            | 0,133 | 0,035 | 0,048 | 0,060  | 0,056 | 0,054    | 0,043 |
| 0,063            | 0,098 | 0,037 | 0,072 | 0,124  | 0,104 | 0,025    | 0,073 |
| 0,056            | 0,078 | 0,065 | 0,076 | 0,066  | 0,057 | 0,095    | 0,063 |
| 0,004            | 0,080 | 0,021 | 0,086 | 0,047  | 0,094 | 0,023    | 0,068 |
| 0,071            | 0,112 | 0,065 | 0,042 | 0,066  | 0,047 | 0,103    | 0,067 |
| 0,023            | 0,061 | 0,006 | 0,068 | 0,027  | 0,050 | 0,044    | 0,078 |
| 0,224            | 0,136 | 0,184 | 0,082 | 0,207  | 0,119 | 0,232    | 0,099 |
| 0,137            | 0,028 | 0,115 | 0,027 | 0,157  | 0,016 | 0,149    | 0,053 |
|                  | 0,022 |       | 0,007 |        | 0,039 |          | 0,004 |
| <b>5 признак</b> |       |       |       |        |       |          |       |
| 0,019            | 0,074 | 0,013 | 0,048 | 0,009  | 0,028 | 0,026    | 0,021 |
| 0,035            | 0,150 | 0,021 | 0,129 | 0,004  | 0,158 | 0,046    | 0,119 |
| 0,060            | 0,036 | 0,030 | 0,020 | 0,045  | 0,028 | 0,095    | 0,030 |
| 0,005            | 0,015 | 0,009 | 0,005 | 0,055  | 0,028 | 0,031    | 0,012 |
| 0,124            | 0,022 | 0,092 | 0,012 | 0,120  | 0,015 | 0,132    | 0,042 |
| 0,035            | 0,061 | 0,069 | 0,048 | 0,095  | 0,058 | 0,080    | 0,044 |
| 0,024            | 0,026 | 0,023 | 0,046 | 0,000  | 0,017 | 0,001    | 0,010 |
| 0,082            | 0,050 | 0,067 | 0,016 | 0,100  | 0,017 | 0,110    | 0,013 |
|                  | 0,036 |       | 0,123 |        | 0,066 |          | 0,058 |

Был проведен дисперсионный анализ для выбора величин флуктуирующей асимметрии отдельных метрических признаков листовых пластин характерных для выбранных пробных площадей (таблицы 2, 5, 8, 11, 14).

Таблица 2. Дисперсионный анализ (1-ый признак)

| Месяц    | Среднее значение |       | Стандартное отклонение |       | Ошибка |       | Коэффициент вариации |        | Сумма |       |
|----------|------------------|-------|------------------------|-------|--------|-------|----------------------|--------|-------|-------|
|          | ПП 1             | ПП 11 | ПП 1                   | ПП 11 | ПП 1   | ПП 11 | ПП 1                 | ПП 11  | ПП 1  | ПП 11 |
| Июнь     | 0,054            | 0,063 | 0,038                  | 0,043 | 0,013  | 0,014 | 69,75%               | 68,28% | 0,432 | 0,569 |
| Июль     | 0,059            | 0,032 | 0,063                  | 0,024 | 0,022  | 0,008 | 106,17%              | 74,00% | 0,476 | 0,289 |
| Август   | 0,054            | 0,038 | 0,034                  | 0,029 | 0,012  | 0,009 | 63,10%               | 75,69% | 0,43  | 0,34  |
| Сентябрь | 0,056            | 0,056 | 0,043                  | 0,036 | 0,015  | 0,012 | 77,74%               | 63,48% | 0,446 | 0,505 |

Таблица 3. Критерий Стьюдента (1-ый признак)

| Месяц    | P     | Достоверность отличий | T-тест | df | M± m          |               | Различия между значениями | Доверительный интервал | R - квадрат |
|----------|-------|-----------------------|--------|----|---------------|---------------|---------------------------|------------------------|-------------|
|          |       |                       |        |    | ПП1 N=8       | ПП11 N=9      |                           |                        |             |
| Июнь     | 0,648 | Нет                   | 0.466  | 15 | 0.054 ± 0.013 | 0.063 ± 0.014 | -0.009 ± 0.020            | -0.051 до 0.033        | 0,014       |
| Июль     | 0,244 | Нет                   | 1.212  | 15 | 0.059 ± 0.022 | 0.032 ± 0.008 | 0.027 ± 0.023             | -0.021 до 0.076        | 0,089       |
| Август   | 0,309 | Нет                   | 1.054  | 15 | 0.054 ± 0.012 | 0.038 ± 0.009 | 0.016 ± 0.015             | -0.016 до 0.048        | 0,069       |
| Сентябрь | 0,985 | Нет                   | 0.019  | 15 | 0.056 ± 0.015 | 0.056 ± 0.012 | -0.0004 ± 0.019           | -0.041 до 0.040        | 0,00002     |

Таблица 4. Критерий Фишера (1-ый признак)

| Месяц    | F     | DFn | DFc | P      | Дисперсия (достоверность отличий) |
|----------|-------|-----|-----|--------|-----------------------------------|
| Июнь     | 1.314 | 8   | 7   | 0,366  | Нет                               |
| Июль     | 7.067 | 7   | 8   | 0,0066 | Да**                              |
| Август   | 1.407 | 7   | 8   | 0,3199 | Нет                               |
| Сентябрь | 1.481 | 7   | 8   | 0,2961 | Нет                               |

При выявлении различий по 1 признаку (ширина половинок листа) между средними двух пробных площадей (ПП1 и ПП11) с помощью непарного критерия Стьюдента выяснили, что различий нет (табл. 3).

Рассмотренные различия дисперсий сравниваемых групп (ПП1 и ПП11) с помощью F-критерия также показали, что различия есть в июле месяце (табл. 4).

Наибольший интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой по второму признаку был выявлен на ПП1 (табл. 1) в июне месяце (величина асимметрии равна 0,125). Наименьший интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой был выявлен как на ПП1 в июне, июле и сентябре (соответственно величина равна 0,002, 0,002, 0,000 и 0,004), так и на ПП11 в июне, июле, августе и в сентябре

(соответственно величина асимметрии равна 0,001, 0,001, 0,001, 0,006, 0,005, 0,006, 0,004, 0,003, 0,002 и 0,005) (табл. 1).

**Таблица 5. Дисперсионный анализ (2-ой признак)**

| Месяц    | Среднее значение |       | Стандартное отклонение |       | Ошибка |       | Коэффициент вариации |        | Сумма |       |
|----------|------------------|-------|------------------------|-------|--------|-------|----------------------|--------|-------|-------|
|          | ПП 1             | ПП 11 | ПП 1                   | ПП 11 | ПП 1   | ПП 11 | ПП 1                 | ПП 11  | ПП 1  | ПП 11 |
| Июнь     | 0,035            | 0,016 | 0,040                  | 0,012 | 0,014  | 0,004 | 114,32%              | 75,32% | 0,281 | 0,140 |
| Июль     | 0,031            | 0,028 | 0,033                  | 0,025 | 0,012  | 0,008 | 107,49%              | 90,32% | 0,248 | 0,252 |
| Август   | 0,032            | 0,013 | 0,031                  | 0,009 | 0,011  | 0,003 | 96,70%               | 69,22% | 0,258 | 0,113 |
| Сентябрь | 0,032            | 0,017 | 0,037                  | 0,013 | 0,013  | 0,004 | 116,53%              | 78,57% | 0,252 | 0,150 |

При выявлении различий по 2 признаку (длина второй жилки второго порядка от основания листа) между средними двух пробных площадей (ПП1 и ПП 11) с помощью непарного критерия Стьюдента выяснили, что различий нет (табл. 6).

**Таблица 6. Критерий Стьюдента (2-ой признак)**

| Месяц    | P     | Достоверность отличий | T-тест | df | M± m          |               | Различия между значениями | Доверительный интервал | R-квадрат |
|----------|-------|-----------------------|--------|----|---------------|---------------|---------------------------|------------------------|-----------|
|          |       |                       |        |    | ПП1 N=8       | ПП11 N=9      |                           |                        |           |
| Июнь     | 0,181 | нет                   | 1.402  | 15 | 0.035 ± 0.014 | 0.016 ± 0.004 | 0.020 ± 0.014             | -0.010 до 0.049        | 0,116     |
| Июль     | 0,836 | нет                   | 0.211  | 15 | 0.031 ± 0.012 | 0.028 ± 0.008 | 0.003 ± 0.014             | -0.027 до 0.033        | 0,003     |
| Август   | 0,088 | нет                   | 1.823  | 15 | 0.032 ± 0.011 | 0.013 ± 0.003 | 0.020 ± 0.011             | -0.003 до 0.043        | 0,181     |
| Сентябрь | 0,273 | нет                   | 1.137  | 15 | 0.032 ± 0.013 | 0.017 ± 0.004 | 0.015 ± 0.013             | -0.013 до 0.043        | 0,079     |

**Таблица 7. Критерий Фишера (2-ой признак)**

| Месяц    | F     | DFn | DFc | P      | Дисперсия (достоверность отличий) |
|----------|-------|-----|-----|--------|-----------------------------------|
| Июнь     | 11.75 | 7   | 8   | 0,0012 | Да**                              |
| Июль     | 1.736 | 7   | 8   | 0,228  | Нет                               |
| Август   | 12.88 | 7   | 8   | 0,0009 | Да***                             |
| Сентябрь | 7.857 | 7   | 8   | 0,0047 | Да**                              |

Рассмотренные различия дисперсий сравниваемых групп (ПП1 и ПП 11) с помощью F-критерия показали, что различия явно выражены в июне, августе и сентябре (табл. 7).

Наибольший интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой по третьему признаку был выявлен на ПП1 (табл. 1) в июле месяце (величина равна 0,261). Наименьший интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой был выявлен как на ПП1 в июне (величина равна 0,008), так и на ПП11 в сентябре (величина равна 0,010) (табл. 1).

Таблица 8. Дисперсионный анализ (3-ий признак)

| Месяц    | Среднее значение |       | Стандартное отклонение |       | Ошибка |       | Коэффициент вариации |        | Сумма |       |
|----------|------------------|-------|------------------------|-------|--------|-------|----------------------|--------|-------|-------|
|          | ПП 1             | ПП 11 | ПП 1                   | ПП 11 | ПП 1   | ПП 11 | ПП 1                 | ПП 11  | ПП 1  | ПП 11 |
| Июнь     | 0,155            | 0,060 | 0,057                  | 0,039 | 0,020  | 0,013 | 36.98%               | 64.24% | 1,243 | 0,541 |
| Июль     | 0,165            | 0,052 | 0,074                  | 0,029 | 0,026  | 0,010 | 45.21%               | 55.21% | 1,316 | 0,470 |
| Август   | 0,137            | 0,068 | 0,076                  | 0,035 | 0,027  | 0,012 | 55.59%               | 51.41% | 1,093 | 0,612 |
| Сентябрь | 0,136            | 0,070 | 0,061                  | 0,046 | 0,021  | 0,015 | 44.64%               | 66.29% | 1,088 | 0,628 |

Таблица 9. Критерий Стьюдента (3-ий признак)

| Месяц    | P     | Достоверность отличий | Т-тест | df | M± m          |               | Различия между значениями | Доверительный интервал | R - квадрат |
|----------|-------|-----------------------|--------|----|---------------|---------------|---------------------------|------------------------|-------------|
|          |       |                       |        |    | ПП1 N=8       | ПП11 N=9      |                           |                        |             |
| Июнь     | 0,001 | Да**                  | 4.056  | 15 | 0.155 ± 0.020 | 0.060 ± 0.013 | 0.095 ± 0.023             | 0.045 до 0.145         | 0,523       |
| Июль     | 0,001 | Да***                 | 4.202  | 15 | 0.165 ± 0.026 | 0.052 ± 0.010 | 0.112 ± 0.027             | 0.055 до 0.169         | 0,541       |
| Август   | 0,028 | Да*                   | 2.442  | 15 | 0.137 ± 0.027 | 0.068 ± 0.012 | 0.069 ± 0.028             | 0.009 до 0.129         | 0,285       |
| Сентябрь | 0,022 | Да *                  | 2.548  | 15 | 0.136 ± 0.021 | 0.070 ± 0.015 | 0.066 ± 0.026             | 0.011 до 0.122         | 0,302       |

Таблица 10. Критерий Фишера (3-ий признак)

| Месяц    | F     | DFn | DFc | P      | Дисперсия (достоверность отличий) |
|----------|-------|-----|-----|--------|-----------------------------------|
| Июнь     | 2.214 | 7   | 8   | 0,1439 | нет                               |
| Июль     | 6.653 | 7   | 8   | 0,0079 | Да**                              |
| Август   | 4.721 | 7   | 8   | 0,0222 | Да*                               |
| Сентябрь | 1.723 | 7   | 8   | 0,231  | нет                               |

При выявлении различий по 3 признаку (расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка) между средними двух пробных площадей (ПП1 и ПП 11) с помощью непарного критерия Стьюдента выяснили, что различия имеются в июне, июле, августе и сентябре (табл. 9).

Рассмотренные дисперсии сравниваемых групп (ПП1 и ПП 11) с помощью F-критерия показали, что различия имеются в июле и в августе (табл. 10).

Наибольший интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой по четвертому признаку был выявлен на ПП1 (табл. 1) в сентябре месяце (величина асимметрии равна 0,232). Наименьший интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой был выявлен как на ПП1 в июне и в июле (величина равна 0,004, 0,006), так и на ПП11 в июле и в сентябре (величина равна 0,007, 0,004) (табл. 1).

Таблица 11. Дисперсионный анализ (4-ый признак)

| Месяц    | Среднее значение |       | Стандартное отклонение |       | Ошибка |       | Коэффициент вариации |        | Сумма |       |
|----------|------------------|-------|------------------------|-------|--------|-------|----------------------|--------|-------|-------|
|          | ПП 1             | ПП 11 | ПП 1                   | ПП 11 | ПП 1   | ПП 11 | ПП 1                 | ПП 11  | ПП 1  | ПП 11 |
| Июнь     | 0,079            | 0,083 | 0,070                  | 0,041 | 0,025  | 0,014 | 88.62%               | 49.68% | 0,634 | 0,748 |
| Июль     | 0,066            | 0,056 | 0,058                  | 0,027 | 0,021  | 0,009 | 88.26%               | 48.02% | 0,528 | 0,508 |
| Август   | 0,094            | 0,065 | 0,062                  | 0,034 | 0,022  | 0,011 | 65.97%               | 52.01% | 0,754 | 0,582 |
| Сентябрь | 0,091            | 0,061 | 0,072                  | 0,026 | 0,025  | 0,009 | 79.09%               | 43.46% | 0,725 | 0,548 |

Таблица 12. Критерий Стьюдента (4-ый признак)

| Месяц    | P     | Достоверность отличий | T – тест | df | M ± m         |               | Различия между значениями | Доверительный интервал | R - квадрат |
|----------|-------|-----------------------|----------|----|---------------|---------------|---------------------------|------------------------|-------------|
|          |       |                       |          |    | ПП1 N=8       | ПП11 N=9      |                           |                        |             |
| Июнь     | 0,890 | нет                   | 0.140    | 15 | 0.079 ± 0.025 | 0.083 ± 0.014 | -0.003861 ± 0.02753       | -0.063 до 0.055        | 0,001       |
| Июль     | 0,665 | нет                   | 0.443    | 15 | 0.066 ± 0.021 | 0.056 ± 0.009 | 0.009556 ± 0.02160        | -0.036 до 0.056        | 0,013       |
| Август   | 0,234 | нет                   | 1.241    | 15 | 0.094 ± 0.022 | 0.065 ± 0.011 | 0.02958 ± 0.02384         | -0.021 до 0.080        | 0,093       |
| Сентябрь | 0,263 | нет                   | 1.163    | 15 | 0.091 ± 0.025 | 0.061 ± 0.009 | 0.030 ± 0.026             | -0.025 до 0.084        | 0,083       |

Таблица 13. Критерий Фишера (4-ый признак)

| Месяц    | F     | DFn | DFc | P      | Дисперсия (достоверность отличий) |
|----------|-------|-----|-----|--------|-----------------------------------|
| Июнь     | 2.893 | 7   | 8   | 0,0799 | Нет                               |
| Июль     | 4.620 | 7   | 8   | 0,0236 | Да*                               |
| Август   | 3.418 | 7   | 8   | 0,0531 | Нет                               |
| Сентябрь | 7.335 | 7   | 8   | 0,0058 | Да**                              |

При выявлении различий по 4 признаку (расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка) между средними двух пробных площадей (ПП1 и ПП11) с помощью непарного критерия Стьюдента выяснили, что различий нет (табл. 12).

Рассмотренные дисперсии сравниваемых групп (ПП1 и ПП11) с помощью F–критерия показали, что различия имеются в июле и сентябре (табл. 13).

Наибольший интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой по пятому признаку был выявлен на ПП11 (табл. 1) в июне месяце (величина равна 0,150). Наименьший интегральный показатель стабильности развития листьев березы повислой был выявлен как на ПП1 в июне, августе и сентябре (соответственно величина асимметрии равна 0,005, 0,004, 0,000, 0,001) (табл. 1).

Таблица 14. Дисперсионный анализ (5-ый признак)

| Месяц    | Среднее значение |       | Стандартное отклонение |       | Ошибка |       | Коэффициент вариации |        | Сумма |       |
|----------|------------------|-------|------------------------|-------|--------|-------|----------------------|--------|-------|-------|
|          | ПП 1             | ПП 11 | ПП 1                   | ПП 11 | ПП 1   | ПП 11 | ПП 1                 | ПП 11  | ПП 1  | ПП 11 |
| Июнь     | 0,048            | 0,052 | 0,039                  | 0,041 | 0,014  | 0,014 | 81.38%               | 79.04% | 0,384 | 0,470 |
| Июль     | 0,041            | 0,050 | 0,031                  | 0,046 | 0,011  | 0,015 | 76.46%               | 93.14% | 0,324 | 0,447 |
| Август   | 0,054            | 0,046 | 0,047                  | 0,046 | 0,017  | 0,015 | 88.45%               | 99.09% | 0,428 | 0,415 |
| Сентябрь | 0,065            | 0,039 | 0,046                  | 0,034 | 0,016  | 0,011 | 70.54%               | 88.61% | 0,521 | 0,349 |

Таблица 15. Критерий Стьюдента (5-ый признак)

| Месяц    | P     | Достоверность отличий | T-тест | df | M±m                  |                     | Различия между значениями | Доверительный интервал | R-квадрат |
|----------|-------|-----------------------|--------|----|----------------------|---------------------|---------------------------|------------------------|-----------|
|          |       |                       |        |    | ПП1<br>N=8           | ПП11<br>N=9         |                           |                        |           |
| Июнь     | 0,832 | нет                   | 0.216  | 15 | 0.048<br>±<br>0.014  | 0.052±<br>0.014     | -0.0042 ±<br>0.020        | -0.046 до 0.037        | 0,003     |
| Июль     | 0,643 | нет                   | 0.473  | 15 | 0.0405<br>±<br>0.011 | 0.050<br>±<br>0.015 | -0.009 ±<br>0.019         | -0.050 до 0.032        | 0,014     |
| Август   | 0,748 | нет                   | 0.327  | 15 | 0.054<br>±<br>0.017  | 0.046<br>±<br>0.015 | 0.007 ±<br>0.023          | -0.041 до 0.056        | 0,007     |
| Сентябрь | 0,197 | нет                   | 1.349  | 15 | 0.065<br>±<br>0.016  | 0.039<br>±<br>0.011 | 0.026 ±<br>0.019          | -0.015 до 0.068        | 0,108     |

При выявлении различий по 5 признаку (угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка) между средними двух пробных площадей (ПП1 и ПП11) с помощью непарного критерия Стьюдента выяснили, что различий нет (табл. 15).

Рассмотренные дисперсии сравниваемых групп (ПП1 и ПП11) с помощью F-критерия показали, что различий нет (табл. 16).

Таблица 16. Критерий Фишера (5-ый признак)

| Месяц    | F     | DFn | DFc | P     | Дисперсия (достоверность отличий) |
|----------|-------|-----|-----|-------|-----------------------------------|
| Июнь     | 1.117 | 8   | 7   | 0,449 | Нет                               |
| Июль     | 2.232 | 8   | 7   | 0,153 | Нет                               |
| Август   | 1.072 | 7   | 8   | 0,457 | Нет                               |
| Сентябрь | 1.787 | 7   | 8   | 0,217 | Нет                               |

## ВЫВОДЫ

При анализе полученных данных с помощью непарного критерия Стьюдента в июне, июле, августе и в сентябре был выявлен 3-ий признак (расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка) (таблица 17).

**Таблица 17. Анализ с использованием непарного критерия Стьюдента**

| Признак | Июнь | Июль | Август | Сентябрь |
|---------|------|------|--------|----------|
| 1       |      |      |        |          |
| 2       |      |      |        |          |
| 3       | +    | +    | +      | +        |
| 4       |      |      |        |          |
| 5       |      |      |        |          |

Рассмотренные различия дисперсий сравниваемых групп (ПП1 и ПП11) с помощью F-критерия показали, что различия выражены в течение всего вегетационного периода. Тогда, как 1-ый признак (ширина половинок листа) проявился только в июле месяце; 2-ой признак (длина второй жилки второго порядка от основания листа) проявился в июне, августе и сентябре; 3-ий признак (расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка) был выявлен в июле и в августе; 4-ый признак (расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка) был выявлен в июле и в сентябре (табл. 18).

**Таблица 18. Различия дисперсий сравниваемых групп (ПП1 и ПП 11) с помощью критерия Фишера**

| Признак | Июнь | Июль | Август | Сентябрь |
|---------|------|------|--------|----------|
| 1       | -    | +    | -      | -        |
| 2       | +    | -    | +      | +        |
| 3       | -    | +    | +      | -        |
| 4       | -    | +    | -      | +        |
| 5       | -    | -    | -      | -        |

По результатам исследований можно сделать вывод о том, что в 2019 г. июль месяц является наиболее информативным. Именно в этот период с помощью критерия Фишера были выявлены различия по 3-м признакам: 1-ый признак (ширина половинок листа), 3-ий признак (расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка); 4-ый признак (расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка). Причем 2-ой признак (длина второй жилки второго порядка от основания листа) выявлен в июне, августе и сентябре.

Полученные результаты свидетельствуют о сезонной динамике показателей флуктуирующей асимметрии листьев деревьев березы повислой. Это необходимо учитывать при проведении мониторинга состояния окружающей среды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубинишвили А.Т. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России. 2000. 68 с.
2. Кулагин А.Ю., Тагирова О.В. Лесные насаждения Уфимского промышленного центра: современное состояние в условиях антропогенных воздействий. Уфа: Гилем, Башк. энцикл. 2015. 196 с.

3. Кулагин А.Ю., Тагирова О.В. Экологические аспекты природопользования в Уфимском промышленном центре (Республика Башкортостан) // Поволжский экологический журнал. №1. 2014. С.67–73.
4. Мамаев С.А. Внутривидовая изменчивость и проблемы интродукции древесных растений [Intraspecific variability and problems of introduction of woody plants in Russia] // Успехи интродукции растений. М.: Наука, 1973. С. 128–140.
5. Шварц С.С. Внутрипопуляционная изменчивость млекопитающих и методы ее изучения // Зоол. ж. 1963. Т. 42. вып. 3. С.417–433.
6. Cornelissen J.H.C., Lavorel S., Garnier E., Diaz S., Buchmann N., Gurvich D. E., Reich P.B., ter Steege H., Morgan H.D., van der Heijden M.G.A., Pausas J.G., Poorter H. A handbook of protocols for standardised and easy measurements of plant functional traits worldwide // Australian Journals of Botany. 2003. V. 51 (4). P. 335–380. DOI: [10.1071/BT02124](https://doi.org/10.1071/BT02124)
7. Graham J.H., Raz S., Hel-Or H., Nevo E. Fluctuating asymmetry: Methods, theory, and applications // Symmetry. 2010. V. 2 (2). P. 466–540. DOI: [10.3390/sym2020466](https://doi.org/10.3390/sym2020466)
8. Graham J.H., Shimizu K., Emlen J.M., Freeman D., Merkel J. Growth models and the expected distribution of fluctuating asymmetry // Biol. J. Linn. Soc. 2003. V. 80 (1). P. 57–65. DOI: [10.1046/j.1095-8312.2003.00220.x](https://doi.org/10.1046/j.1095-8312.2003.00220.x)
9. Graham J.H., Whitesell M.J., Fleming M., Hel-Or H., Nevo E. and Raz S. Fluctuating Asymmetry of Plant Leaves: Batch Processing with LAMINA and Continuous Symmetry Measures // Symmetry. 2015. V. 7 (1). P. 255–268; DOI: [10.3390/sym7010255](https://doi.org/10.3390/sym7010255)
10. Klingenberg C.P., McIntyre G.S. Geometric morphometrics of developmental instability: Analyzing patterns of fluctuating asymmetry with procrustes methods // Evolution. 1998. V. 52 (5). P. 1363–1375. DOI: [10.1111/j.1558-5646.1998.tb02018.x](https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1998.tb02018.x)
11. Van Valen L. A study of fluctuating asymmetry // Evolution. 1962. V. 16 (2), P. 125–142. DOI: [10.1111/j.1558-5646.1962.tb03206.x](https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1962.tb03206.x)