УДК 57.04 + 574 DOI: 10.24411/1728-323X-2019-11021

ТЕХНОГЕННАЯ И ШИРОТНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ АСИММЕТРИИ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ И ПУШИСТОЙ

А. А. Зорина, *кандидат биологических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петрозаводский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ПетрГУ»), zor-nastya@yandex.ru, г. Петрозаводск, Россия*

Для оценки уровня флуктуирующей асимметрии (*FA*) березы повислой и пушистой сбор данных проводился в трех регионах Северо-Запада России (Ленинградская, Мурманская области, Республика Карелия) на 14 территориях. Рассмотрена работоспособность двух показателей: по методике Е. М. Захарова (FA_1) и на основе нормированного отклонения (FA_2). Достоверно высокие уровни *FA* наблюдаются на территориях городских свалок, в окрестностях Волховского алюминиевого завода Ленинградской области и Костомукшского горно-обогатительного комбината Карелии. Обнаружена согласованная реакция видов берез на разные местообитания, что определяется сходством кластеризации участков с разным типом техногенной деятельности по FA_2 деревьев и достоверной широтной изменчивостью уровня асимметрии для обоих видов. Чем севернее территория, тем ниже уровень стабильности развития деревьев. На основании одних и тех же данных FA_1 и FA_2 показали разные результаты, что обусловлено отличием в нормировании и других арифметических преобразованиях исходных данных, а также в необходимости применения критериев разной точности. По степени изменчивости уровня флуктуирующей асимметрии установлено, что от 18 до 36 % признаков листовой пластики берез можно отнести к морфометрическим индикаторам стабильности развития деревьев.

To assess the level of fluctuating asymmetry (*FA*) of *Betula pendula* and *B. pubescens*, the data were collected in three regions of the Russia North-West (Leningrad, the Murmansk Region, the Republic of Karelia) in 14 territories. The efficiency of two estimations is considered: by the method of E. M. Zakharov (FA_1) and on the basis of normalized deviation (FA_2). Significantly high levels of *FA* were observed in the territories of urban dumps, in the vicinity of the Volkhov Aluminum Plant in the Leningrad Region and Kostomuksha Ore Mining and Processing Plant in Karelia. A coordinated response of birch species to different habitats was found, which is determined by the similarity of the sites clustering with different types of anthropogenic activities according to trees' FA_2 and reliable latitudinal variability of asymmetry level for both species. The North of the territory, the lower the level of trees stability is observed. On the basis of the same data FA_1 and FA_2 showed different results, due to the difference in the normalization and other arithmetic transformations of the original data, as well as the need to apply the criteria of different accuracy. According to the degree of fluctuating asymmetry level variability, it was found that from 18 to 36 % of birch leaf signs could be attributed to morphometric indicators of tree development stability.

Ключевые слова: флуктуирующая асимметрия, показатели асимметрии, влияние факторов, *Betula pendula*, *Betula pubescens*, морфометрические признаки.

Keywords: fluctuating asymmetry, estimations of asymmetry, factors influence, *Betula pendula*, *Betula pubescens*, morphometric characteristics.

Введение. Оценка качества среды по стабильности развития организмов довольно длительное время проводится по уровню флуктуирующей асимметрии (ФА) их морфологических структур [1—5]. Среди объектов исследования доминируют древесные сосудистые растения, целый ряд достоинств которых позволяет им конкурировать с другими индикаторами живой природы: доступность, широкий ареал распространения, простота морфометрических промеров, высокая (для большинства видов) экологическая валентность (пластичность организмов), приспособляемость к урбанизированной среде, искусственное разведение и т.д. [6—8]. Среди лиственных деревьев предпочтение отдается березам и показателям асимметрии их листовых пластинок [9, 10], как универсальным биоиндикаторам качества среды.

Оценки стабильности развития проводятся при отсутствии универсальной методики расчета показателей асимметрии и часто без учета особенностей нормальной изменчивости уровней ФА признаков [3, 4, 6]. Нередко за основу принимается практически ставшая «фундаментальной» пятибалльная методика «оценки стабильности живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур» [2, 5], которая большинством исследователей не подвергается сомнению [8—10]. Как следствие, отмечается неоднозначное влияние антропогенных и абиотических факторов среды на характеристику стабильности развития организмов [1, 7, 11].

В статье рассмотрена работоспособность альтернативных показателей флуктуирующей асимметрии морфометрических признаков березы повислой и пушистой для оценки качества окружающей среды с разным типом и степенью влияния антропогенных и абиотических факторов.

Материалы и методы

Сбор материала проводился в 2006—2008 гг. на территории трех областей Российской Федерации (РФ): в Ленинградской области (ЛО), Республике Карелия (РК) и Мурманской области (МО) (рис. 1).

Выборки для учета влияния компонентов среды на величину асимметрии создавались при определенной интенсивности проявления исследуемого фактора, тогда как все прочие условия сохранялись однородными. Выполнены следующие условия формирования выборок: сбор в начале августа; биотоп — пограничная полоса между открытыми и лесными фитоценозами; возрастное состояние де-

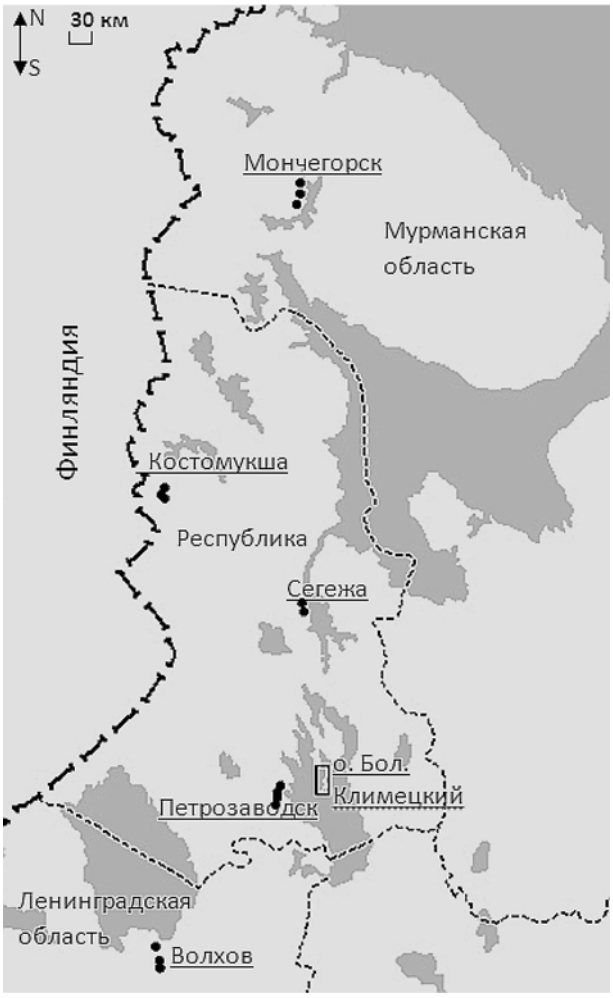

Рис. 1. Карта-схема мест сбора материала (● — точки отбора проб, □ — условная норма)

рева — g_1 (молодые особи генеративного периода онтогенеза); категория состояния — первая (без повреждений); прямой ствол; один ствол; сбор листьев с нижней части кроны, с брахибластов.

Для определения влияния антропогенной деятельности на величину асимметрии признаков березы повислой были сформированы 10 выборок, березы пушистой — 14 выборок (нумерация дана в порядке расположения точек сбора материала с юга на север): $n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = n_5 = n_6 = n_7 = n_8 = n_9 = n_{10} = n_{11} = n_{12} = n_{13} = n_{14} = 10$ д. · 10 л./д. = 100 шт. Сбор десяти листьев с десяти деревьев проводился на следующих территориях (рис. 1):

- ЛО — 30 км на север (n_3), 2 км (n_2) и 10 км (n_1) на юг от ВАЗ (ОАО «Волховский алюминиевый завод им. С. М. Кирова»);
- РК — центральная часть острова Б. Климецкий — контроль или условная норма (n_6), центр г. Петрозаводска (n_5), городская свалка Петрозаводска (n_4), 2 км (n_8) и 10 км (n_7) на юг от СЦБК (ОАО «Сегежский целлюлозно-бумажный комбинат»), городская свалка Костомукши (n_{10}), 2 км (n_{11}) и 10 км (n_9) на юг от КГОК (Костомукшский горно-обогатительный комбинат ОАО «Карельский окатыш»);
- МО — 30 км (n_{12}), 10 км (n_{13}) и 2 км (n_{14}) на юг от КСН (ОАО «Комбинат Североникель»).

Материалом для исследования послужили данные по метрическим билатеральным признакам листовых пластинок берез. Промеры отсканированного изображения левой (L_{ij}) и правой (R_{ij}) половинок листа проводились в электронной среде MapInfo [3]. Для листовой пластинки (i = 1, 2, ..., n — номер листа) использовались промеры 12 метрических билатеральных признаков (j = 1, 2, ..., m — номер признака; m = 12): j = 1 — ширина, 2, 3, 4, 5 — длина первой, второй, третьей и четвертой жилок второго порядка, 6, 7, 8 — расстояние между основаниями жилок второго порядка, 9, 10, 11 — расстояние между концами этих же жилок, 12 — угол между осевой и второй жилкой II порядка

Статистическая обработка выполнялась в программах MS Excel и StatGraphics. После удаления выскакивающих вариант с помощью критерия Стьюдента была проведена проверка на подтверждение флуктуирующего характера асимметрии, т.е. соответствия распределения показателя разности сторон ($L_{ij} - R_{ij}$) нормальному закону [12]. Были использованы два типа показателей ФА (табл. 1): № 1 — наиболее часто используемая методика Е. М. Захарова [2, 5], № 2 — показатель и индекс асимметрии на основе нормированного отклонения [3].

Выборки, сформированные на основе первого показателя, не соответствуют закону нормального распределения, и их сравнение проводилось с помощью непараметрических критериев (Уилкоксона-Манна-Уитни или Пирсона). Показатели и индексы, распределение которых соответствовало нормальному закону (метод № 2), сравнивались с помощью параметрического критерия Фишера. Среди методов многомерной статистики применяли кластерный и компонентный анализы данных [12].

Результаты и обсуждение

Флуктуирующая асимметрия пластических признаков обнаруживается в форме нормального распределения величины разности промеров на двух сторонах объекта, при этом коэффициенты асимметрии, эксцесса и среднее значение равны нулю [1—3]. Для всех выборок были проведены статистические тесты на установление флуктуирующего характера асимметрии признаков. По

результатам из дальнейшего анализа были исключены 6-й и 12-й промеры березы повислой и 12-й признак березы пушистой, для которых проявилась направленная асимметрия. Таким образом, для расчета интегральных индексов березы повислой было использовано 10 признаков, а для березы пушистой — 11 промеров (табл. 2). Индексы ФА березы повислой ($FA_{1/5}$, *Betula pendula* Roth; табл. 2), оцененные на основе пяти промеров (j = 1, 3, 6, 9, 12), применялись для оценки качества среды по балльной шкале [2, 5]. Есть пробелы в данных по березе повислой, где она

Таблица 1

Формулы расчета показателей и индексов флуктуирующей асимметрии*

№	Показатели асимметрии			
	Одной особи по одному признаку, fa_{ij}	**Выборки по одному признаку, fa_j**	**Одной особи по всем признакам, fa_i**	**Интегральный индекс, *FA***
1	$fa_{ij} = \frac{\lvert L_{ij} - R_{ij}\rvert}{(L_{ij} + R_{ij})}$	$fa_j = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} fa_{ij}$	$fa_i = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} \frac{\lvert L_{ij} - R_{ij}\rvert}{(L_{ij} + R_{ij})}$	$FA = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} fa_i$
2	$fa_{ij} = (t_{L_{ij}} - t_{R_{ij}})$ $t_{L_{ij}} = (L_{ij} - M)/S$ $t_{R_{ij}} = (R_{ij} - M)/S$	$fa_j = S^2_{fa_{ij}}$	$fa_i = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} (tL_{ij} - tR_{ij})$	$FA = S^2_{fa_i}$

* *Примечание:* M и S — средняя арифметическая и стандартное отклонение j-го билатерального признака конкретной выборки

Таблица 2

Значения индексов асимметрии листьев берез на территориях с разной степенью антропогенной нагрузки

Места отбора проб		*Betula pendula*				*Betula pubescens*	
		$FA_{1/10}$	$FA_{1/5}$	Балл	FA_2	FA_1	FA_2
		Количество объединяемых признаков					
		10	5		10	11	11
Ленинградская область							
10 км на юг от ВАЗ	n_1	0,049	0,051	IV	0,052	0,054	0,043
2 км на юг от ВАЗ	n_2	0,050	0,050	IV	0,055	0,058	**0,046***
30 км на север от ВАЗ	n_3					0,055	0,038
Республика Карелия							
свалка Петрозаводска	n_4	0,051	0,053	IV	**0,060***	0,055	0,044
г. Петрозаводск	n_5	0,050	0,051	IV	0,050	0,058	0,034
о. Б. Климецкий (условная норма)	$\boldsymbol{n_6}$	0,049	0,045	III	0,026	0,051	0,018
10 км на юг от СЦБК	n_7	0,050	0,053	IV	0,028	0,051	0,017
2 км на юг от СЦБК	n_8	0,050	0,045	III	0,031	0,051	0,027
10 км на юг от КГОК	n_9	0,051	0,051	IV	0,035	0,052	0,019
свалка Костомукши	n_{10}	**0,054***	0,052	IV	0,050	0,053	0,036
2 км на юг от КГОК	n_{11}	**0,054***	**0,057***	**V***	0,038	**0,060***	0,027
Мурманская область							
30 км на юг от КСН	n_{12}					0,052	0,023
10 км на юг от КСН	n_{13}					0,053	0,035
2 км на юг от КСН	n_{14}					0,051	0,037

Примечание: полужирное начертание используется для контрольной выборки с минимальным антропогенным воздействием; * полужирное начертание маркирует максимальные значения асимметрии, рассчитанные для конкретного вида березы по определенному интегральному индексу; подчеркнутые значения отмечают минимальные значения ФА.

не была обнаружена: Ленинградская область — одна точка, Мурманская — три (табл. 2). Это можно объяснить ее меньшей экологической валентностью по сравнению с березой пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.).

Результаты влияния антропогенного фактора на уровень ФА берез показывают, что проявление асимметрии в разных точках отбора проб неоднородно (табл. 2), а по отдельным оценкам достигает значимых отличий.

Максимальные уровни FA_1 березы повислой обнаружены для выборок, сформированных в окрестностях Костомукшского ГОКа и на свалке Костомукши. При пересчете индекса для пяти стандартных промеров максимальное значение сохраняется только для территории в 2 км на юг от КГОК $FA_{1/5} = 0{,}057$ (V балл или критическое состояние по шкале стабильности развития) [5] (табл. 2). Минимальные значения по $FA_{1/10}$ определены не только для контрольной выборки, но и в 10 км на юг от ВАЗ. В целом, по шкале качества среды, изученные территории относятся к IV группе, однако для условной нормы (о. Б. Климецкий), и для окрестностей СЦБК определяется третья группа — средний уровень отклонений от нормы [5] (табл. 2). Достоверные отличия по $FA_{1/10}$ обнаружены не только между выборками с максимальными и минимальными значениями индекса, но также между: n_2 и n_{10} ($\alpha = 0{,}001$), n_2 и n_{11} ($\alpha = 0{,}006$), n_4 и n_6 ($\alpha = 0{,}005$).

Для березы пушистой уровень стабильности развития, оцененный по индексу FA_1, не согласовывается с результатами для березы повислой. Тем не менее максимальное значение асимметрии сохраняется для окрестностей КГОКа, минимум характерен для трех территорий — условной нормы, в 2 и 10 км на юг от СЦБК (табл. 2). Различия асимметрии по FA_1 березы пушистой достигают значимых уровней в основном по выборкам с промежуточными значениями: n_4 — 7 из 13 (69 %); n_7 (15 %); n_8 (23 %); n_{10} (23 %); n_{13} (15 %).

По индексу FA_2 достоверно высокие уровни асимметрии листа березы повислой наблюдаем для городских свалок, под г. Волхов, в центре г. Петрозаводска по сравнению с контрольной выборкой (табл. 2). Выборка n_6 достоверно отличается от выборок n_1, n_2, n_4, n_5 и n_{10} по индексу FA_2 ($\alpha < 0{,}01$). Доля случаев обнаружения достоверных отличий по показателям асимметрии отдельных признаков этих же выборок превышает 20 %. Однако отличия между контролем и пробами, взятыми в окрестностях крупных промышленных предприятий Карелии (СЦБК и КГОК), недостоверны. Максимальные и минимальные значения асимметрии отличаются для разных видов берез, что отмечает видоспецифичность их реакции на факторы среды. Обнаружено 22 значимых отличия (при $\alpha = 0{,}01$) между 14 выборками для березы пушистой, из них: для точек около Волховского алюминиевого завода — 45 %, комбината Североникель — 27 % и на территориях городских свалок — 18 %.

Для визуальной оценки работоспособности двух типов показателей (№ 1 и 2, табл. 1) рассмотрена классификация участков с разной степенью антропогенного воздействия по уровню индексов FA_1 и FA_2, рассчитанных на основе: 10 признаков *Betula pendula* и 11 точек отбора проб; 11 характеристик *Betula pubescens* и 14 мест сбора материала (табл. 2, рис. 2). Кластерный анализ был проведен на основе метода ближайшего соседа и евклидовой меры расстояния.

Римская нумерация кластеров на дендрограмме соответствует сортировке по возрастанию уровня асимметрии берез на территориях с разной антропогенной нагрузкой (рис. 2). При использовании FA_1 группы участков располагаются по оси OX в порядке увеличения степени негативного воздействия, тогда как по FA_2 сначала в кластеры объединяются места отбора проб с максимальными значениями асимметрии, а затем — в порядке их уменьшения. Данная классификация не универсальна, например, на дендрограмме по FA_2 и *Betula pubescens* первый кластер следует разделить на три подгруппы, отличающиеся как величиной *FA*, так и типом антропогенного воздействия (табл. 2, рис. 2).

Анализ дендрограммы показывает существенные отличия в работоспособности интегральных индексов: например, если для FA_1 по березе повислой места отбора проб n_1 и n_6 попадают в первый кластер, то для FA_2 они находятся в противоположных по значимости группах. Искусственный характер классификации по FA_1 проявляется при анализе состава кластеров у разных видов берез, например (рис. 2):

- n_{10}, из IV группы для *Betula pendula*, максимально подверженной антропогенному фактору, попадает в I группу для *Betula pubescens*;
- n_4 и n_9 перемещаются на порядок ниже, чем n_2 и n_5;
- объединение в кластеры основано на одинаковой величине расчетного индекса и не связано с типом техногенной деятельности человека.

При анализе результатов кластеризации исследуемых участков по FA_2 для *Betula pubescens* также можно найти отличия, но они обусловлены увеличением мест отбора проб с 10 до 14 и, соответственно, перераспределением расчетных зна-

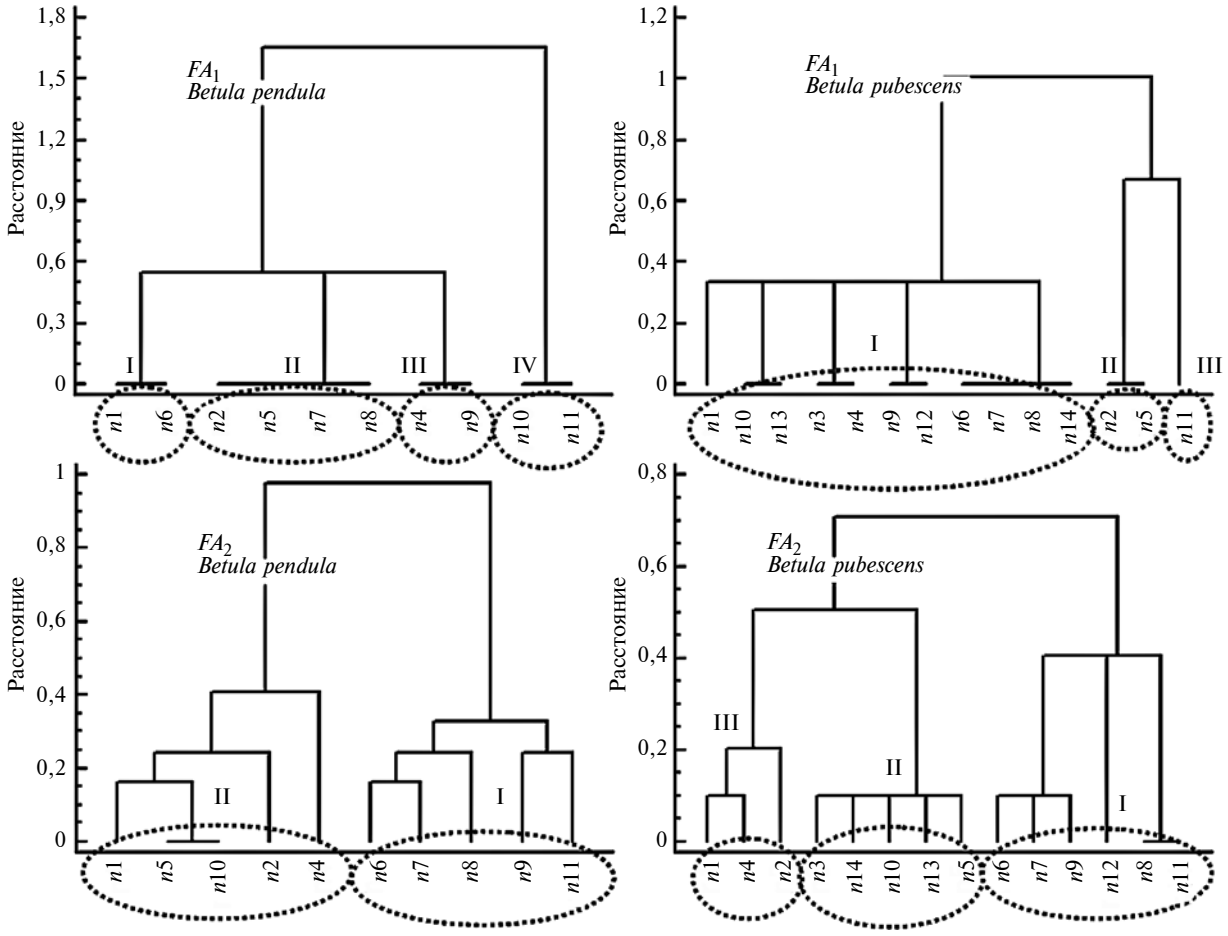

Рис. 2. Дендрограмма сходства участков с разной степенью антропогенного воздействия по уровню индекса ФА (пороговый уровень выделения кластеров соответствует расстоянию в 0,4; точечной штриховкой с римскими цифрами отмечены кластеры мест отбора проб)

чений величины показателя. Например, территории с максимальной антропогенной нагрузкой перераспределяются между II и III кластерами, а все участки первой группы для березы повислой сохраняются и для березы пушистой, присоединяя n_{12} (рис. 2).

Изменение оценок асимметрий отдельных признаков по точкам отбора проб согласовано, коэффициент конкордации Кендала по $fa_{j(2)}$ для березы повислой составил $W = 0{,}32$ ($\alpha = 0{,}005$) и для березы пушистой — $W = 0{,}68$ ($\alpha = 0{,}001$). Наибольшей чувствительностью обладают четыре признака березы повислой $j = 2, 4, 9, 11$ и три промера березы пушистой $j = 8, 9, 10$ (доля достоверных отличий по признаку составляет >20 %). Для показателя $fa_{j(1)}$ другие признаки проявили повышенную чувствительность: $j = 1, 3, 11$ у березы повислой и $j = 3, 11$ у березы пушистой.

Критерий в 20 % достоверных отличий для определения чувствительности признака обусловлен следующим положением: случайное искажение нормальной формы выборочных распределений способно вызвать значимое различие между сравниваемыми дисперсиями в 20 % случаев. Если уровень достоверных отличий превышает этот порог, то можно говорить о биологической природе наблюдаемой изменчивости, т.е. ее связи с реальным повышением или понижением асимметрии объекта [3].

Сравнение реакции двух видов берез на условия произрастания было проведено по обоим оценкам асимметрии — FA_1 и FA_2. Коэффициент корреляции Спирмена [12] между уровнем асимметрии видов по рангам показателей оказался достоверным только по FA_2 ($r_s = 0{,}84$, $\alpha = 0{,}001$). По FA_1 корреляция составила $r_s = 0{,}30$ при уровне значимости $\alpha = 0{,}07$. Сопряженная реакция (по FA_2) двух видов берез на условия произрастания может быть обусловлена не только влиянием антропогенных факторов, но и изменением абиотических условий среды [9]. Точная оценка факторов среды, которые могли бы оказать влияние на стабильность развития организмов, не была проведена, но многие параметры местообитаний

Таблица 3

Нормированные факторные нагрузки компонентного анализа координат местности и значений FA_2 березы повислой и пушистой

Параметры	Факторные нагрузки	
	a_1	a_2
Координаты северной широты	**−0,81**	−0,52
Координаты восточной долготы	0,01	**1,00**
FA_2 *(Betula pendula)*	**0,96**	−0,28
FA_2 *(Betula pubescens)*	**1,00**	−0,16
S^2	*2,4*	*1,3*
S^2, %	*61*	*32*

Примечание: достоверное отличие от нуля отмечено полужирным начертанием значений факторных нагрузок.

зависят от координат местности. Места отбора проб при проведении нашего исследования находились на значительном удалении друг от друга — при большой протяженности с юга на север (рис. 1).

Дать наиболее полную характеристику абиотическим изменениям исследуемых территорий и показателям асимметрии обоих видов берез с помощью минимального числа неких расчетных признаков позволяет метод главных компонент. В качестве исходных свойств были взяты координаты местности, а также значения FA_2 берез, на основе которого было доказано сходство реакции видов на условия произрастания. Расчет проводился по десяти общим территориям (табл. 3).

Первая главная компонента имеет наибольшую дисперсию (2,4 из 4, или 61 % информации), на вторую компоненту также приходится значимая ее часть — 32 % (табл. 3). Для более эффективного сопоставления факторных нагрузок было проведено их нормирование — в каждой компоненте по отдельности все нагрузки поделили на модуль максимального значения. Относительная величина позволяет применить простой критерий оценки достоверности отличия от нуля, для этого она должна быть по модулю больше 0,7 [12]. Таким образом, с помощью метода главных компонент широтная изменчивость величины асимметрии доказана для обоих видов берез: чем севернее территория, тем больше величина асимметрии деревьев, тем ниже уровень стабильности развития (качество особей в популяции, табл. 3), что подтверждается исследованиями других авторов [13]. Исследованные северные территории относятся к периферии ареала видов.

Вторая главная компонента улавливает направление изменчивости данных, связанное с долготой местности. Для доказательства ее влияния на морфологические структуры необходим сбор данных с большим размахом долготных характеристик. Долготная зональность проявляется в изменении континентальности климата и смене типов ландшафтов.

Заключение

Показатели ФА рекомендуют использовать в качестве индикаторов отклонения условий среды от оптимальных [1, 5]. Повреждающие воздействия могут приводить к увеличению величины асимметрии как в природных популяциях, так и в контролируемых лабораторных группах особей [9, 10]. Но данная закономерность подтверждается не всегда, и вопрос о достоинствах оценки уровня ФА в системе экологического мониторинга остается актуальным [1, 3, 7, 11]. Для характеристики влияния техногенной деятельности человека и абиотических факторов среды на уровень ФА березы повислой и пушистой отбор проб проводился на 14 территориях Северо-Запада России. Для расчета оценок асимметрии и анализа их изменчивости были использованы методика Е. М. Захарова [2, 5] и показатель асимметрии на основе нормированного отклонения [3].

Результаты свидетельствуют о том, что достоверно высокие уровни ФА берез наблюдаются на территориях городских свалок, в окрестностях Волховского алюминиевого завода Ленинградской области и в окрестностях Костомукшского горно-обогатительного комбината Карелии. Береза повислая характеризуется меньшей экологической валентностью по сравнению с березой пушистой, однако по анализу изменчивости FA_2 была обнаружена согласованная реакция обоих видов на разные местообитания. Во-первых, это обусловлено сходством реакции берез на сходные типы техногенной деятельности человека. Во вторых, доказана достоверная широтная изменчивость оценок ФА для обоих видов берез: чем севернее территория, тем больше величина асимметрии листовой пластинки. Тем не менее по показателю FA_1 согласованной изменчивости асимметрии берез по точкам отбора проб доказано не было.

Анализ изменчивости оценок ФА показал, что от 18 до 36 % признаков листовой пластики берез можно отнести к морфометрическим индикаторам стабильности развития деревьев:

- по оценке $fa_{j(1)}$ — j = 1, 3, 11 у березы повислой и j = 3, 11 у березы пушистой;
- по $fa_{j(2)}$ — j = 2, 4, 9, 11 у березы повислой и j = 8, 9, 10 у березы пушистой.

Таким образом, на основании одних и тех же данных разные показатели асимметрии дают разные результаты. Причины противоречивых результатов по FA_1 и FA_2 кроются в способах нормирования и других арифметических преобразованиях исходных данных, а также в необходимости применения критериев разной точности.

Первый тип показателя (№ 1, табл. 1) не подчиняется нормальному закону: модуль изменяет разницу промеров и приводит распределение к правосторонней асимметрии. Показатели с ненормальным распределением переносят незначительные отличия между выборками на одну сторону гистограммы и усиливают их: редкие случайные отклонения «выдаются» за существенные. Нормирование на величину признака не снимает эффект «размер — зависимости». Между дисперсией и средней величиной признаков однозначной зависимости нет, и подобное математическое преобразование вводит в оценку уровня асимметрии признака еще одну компоненту с неопределенной изменчивостью. В итоге разные признаки имеют разную форму распределений, разные уровни статистических параметров, т.е. они попросту несовместимы. Но FA_1 просто усредняет значения частных показателей (табл. 1), в результате чего наибольшую роль в общей средней особи играют те признаки, которые имеют наибольшие значения [3].

Второй тип показателя асимметрии (№ 2, табл. 1) при нормировании использует общепринятую безразмерную характеристику отклонения отдельной варианты от средней арифметической — нормированное отклонение. Процедура сохраняет исходно нормальное распределение разницы сторон, приводит все признаки к одинаковому диапазону изменчивости (примерно ± 3) и позволяет выполнять их суммирование с признанием равной информационной значимости. Это дает возможность проводить сравнение выборок с использованием точных параметрических критериев. Показатель, основанный на нормированном отклонении, учитывает массовые проявления ФА и в меньшей мере зависит от случайностей при формировании выборок [3].

Библиографический список

1. Гелашвили Д. Б., Якимов В. Н., Логинов В. В., Епланова Г. В. Статистический анализ флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков разноцветной ящурки // Актуальные проблемы герпетологии и токсинологии: Сборник научных трудов. — Тольятти. Вып. 7. — 2004. — С. 45—59.
2. Захаров Е. М., Чубинишвили А. Т., Дмитриев С. Г. и др. Здоровье среды: практика оценки. — М.: Центр экологической политики России. — 2006. — 68 с.
3. Зорина А. А. Флуктуирующая асимметрия животных и растений. — Saarbrucken: Lap Lambert Academic Publishing GmbH & Co.KG. — 2010. — 180 с.
4. Маслова О. В., Хотулева О. В., Фролова Н. А., Федорова Л. В., Колонцов А. А. Растения водотоков и водоемов города Орехово-Зуево как объект изучения флуктуирующей асимметрии // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. № 3. — 2014.— С. 19—25.
5. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур): утв. распоряжением Росэкологии от 16.10.2003 № 460-р. URL: http:// www.consultant.ru
6. Белякова О. И., Тулупова А. А. Оценка качества окружающей среды в разных районах города Курска методом флуктуирующей асимметрии листовых пластинок березы повислой и липы мелколистной // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. № 2 (19). — 2016. — С. 68—74.
7. Полонский В. И., Полякова И. С. Сирень венгерская — перспективный биоиндикатор для сравнительной оценки степени загрязнения городской среды // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. № 2 (89). — 2014. — С. 89—92.
8. Снакин В. В., Присяжная А. А., Косякова Н. И., Хрисанов В. Р., Митенко Г. В., Круглова С. А. Здоровье среды и здоровье населения (на примере Малого города России) // Жизнь Земли. Т. 39. № 2. — 2017. — С. 125—138.
9. Гуртяк А. А., Углев В. В. Оценка состояния среды городской территории с использованием березы повислой в качестве биоиндикатора // Известия Томского политехнического университета. Т. 317. № 1. — 2010. — С. 200—204.
10. 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. № 1 (64). — 2018. — С. 21—27.
11. Первышина Г. Г., Коротченко И. С. Оценка стабильности развития березы повислой, произрастающей вблизи месторождений «Бородинское» и «Итатское» Канско-Ачинского угольного бассейна // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. № 9 (132). — 2017. — С. 116—121.
12. Ивантер Э. В., Коросов А. В. Введение в количественную биологию. — Петрозаводск: ПетрГУ. — 2003. — 304 с.
13. Лайус Д. Л., Грэм Д. Х., Католикова М. В., Юрцева А. О. Флуктуирующая асимметрия и случайная фенотипическая изменчивость в популяционных исследованиях: история, достижения, проблемы, перспективы // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. № 3. — 2009. — С. 98—110.

TECHNOLOGICAL AND LATITUDINAL VARIATION OF ASYMMETRY VALUE OF *BETULA PENDULA* AND *BETULA PUBESCENS*

A. A. Zorina, Ph. D. (Biology), Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education of Petrozavodsk State University (PetrSU), zor-nastya@yandex.ru, Petrozavodsk, Russia

References

1. Gelashvili D. B., Yakimov V. N., Loginov V. V., Eplanova G. V. Statisticheskij analiz fluktuiruyushchej asimmetrii bilateralnyh priznakov raznocvetnoj yashchurki [Statistical analysis of the fluctuating asymmetry of bilateral signs of multi-colored lizard]. *Actual problems of Herpetology and toxinology: Collection of scientific works.* Tolyatti, 2004. Vol. 7. P. 45—59. [in Russian]
2. Zakharov E. M., Chubinishvili A. T., Dmitriev S. G. et al. Zdorove sredy: praktika ocenki [Environmental health: assessment practices]. Moscow, Centr ehkologicheskoj politiki Rossii, 2006. 68 p. [in Russian]
3. Zorina A. A. Fluktuiruyushchaya asimmetriya zhivotnyh i rastenij [Fluctuating asymmetry of animals and plants]. Saarbrucken: Lap Lambert Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2010. 180 p. [in Russian]
4. Maslova O. V., Khotulyova O. V., Frolova N. A., Fedorova L. V., Kolontsov A. A. Rasteniya vodotokov i vodoyomov goroda Orekhovo-Zuevo kak ob'ekt izucheniya fluktuiruyushchej asimmetrii [Plants of watercourses and reservoirs of Orekhovo-Zuyevo as an object of study of fluctuating asymmetry]. *Bulletin of the Moscow State Regional University. Series: Natural Sciences*, 2014. No. 3. P. 19—25. [in Russian]
5. Guidelines for the assessment of the quality of the environment on the state of living beings (assessment of the stability of living organisms on the level of asymmetry of morphological structures): approved. order Rosemaryi at 16.10.2003 № 460-r. URL: http:// www.consultant.ru [in Russian]
6. Belyakova O. I., Tulupova A. A. Ocenka kachestva okruzhayushchej sredy v raznyh rajonah goroda Kurska metodom fluktuiruyushchej asimmetrii listovyh plastinok berezy povisloj i lipy melkolistnoj [Assessment of environmental quality in different parts of the city of Kursk by fluctuating asymmetry of birch leaf blades and small-leaved Linden]. *News of Southwest State University. Series: Machinery and technology*, 2016. No. 2 (19). P. 68—74. [in Russian]
7. Polonskiy V. I., Polyakova I. S. Siren vengerskaya perspektivnyj bioindikator dlya sravnitelnoj ocenki stepeni zagryazneniya gorodskoj sredy [Lilac Hungarian-a promising bioindicator for comparative assessment of the degree of pollution of the urban environment]. *Bulletin of Krasnoyarsk state agrarian University*, 2014. No. 2 (89). P. 89—92. [in Russian]
8. Snakin V. V., Prisyazhnaya A. A., Kosyakova N. I., Khrisanov V. R., Mitenko G. V., Kruglova S. A. Zdorove sredy i zdorove naseleniya (na primere Malogo goroda Rossii) [The health of the environment and the health of the population (a case study of Small cities of Russia)]. *The Life Of The Earth,* 2017. Vol. 39. No. 2. P. 125—138. [in Russian]
9. Gurtyak A. A., Uglev V. V. Ocenka sostoyaniya sredy gorodskoj territorii s ispolzovaniem berezy povisloj v kachestve bioindikatora [Assessment of the urban environment using birch as a bioindicator]. *News of Tomsk Polytechnic University,* 2010. Vol. 317, No. 1. P. 200—204. [in Russian]
10. Zalesov S. V., Bachurina A. V., Shevelina A. O. Ocenka stabilnosti sostoyaniya berezy na razlichnom udaleniiot OAO "Ufalejnikel" [Assessment of stability of birch at different distances from JSC "Ufaleinikel"]. *Russian forests and their economy*, 2018. No. 1 (64). P. 21—27. [in Russian]
11. Pervyshina G. G., Korotchenko I. S. Ocenka stabilnosti razvitiya berezy povisloj, proizrastayushchej vblizi mestorozhdenij "Borodinskoe" i "Itatskoe" Kansko-Achinskogo ugolnogo bassejna [Estimation of stability of development of silver birch, grown near fields "Borodino" and Itatskoe Kansk-Achinsk Coal Basin]. *Bulletin of Krasnoyarsk state agrarian University*, 2017. No. 9 (132). P. 116—121. [in Russian]
12. Ivanter EH. V., Korosov A. V. Vvedenie v kolichestvennuyu biologiyu [Introduction to quantitative biology]. Petrozavodsk: PetrGU, 2003. 304 p. [in Russian]
13. Laius D. L., Grehm D. H., Katolikova M. V., Yurtseva A. O. Fluktuiruyushchaya asimmetriya i sluchajnaya fenotipicheskaya izmenchivost v populyacionnyh issledovaniyah: istoriya, dostizheniya, problemy, perspektivy [Fluctuating asymmetry and random phenotypic variability in population studies: history, achievements, problems, prospects]. *Bulletin of St. Petersburg University. Episode 3. Biology,* 2009. No. 3. P. 98—110. [in Russian]