

Оригинальная статья

УДК 574.24:581.451

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-37-57>

ГРУППОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТА *BETULA PENDULA* ROTH (BETULACEAE, MAGNOLIÓPSIDA) В ГРАДИЕНТАХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ И ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОЧВ

Т. В. Жуйкова ✉, Э. В. Мелинг, А. С. Попова

Нижнетагильский государственный социально-педагогический институт (филиал)
ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет»
Россия, 622031, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, д. 57

Поступила в редакцию 08.01.2023 г., после доработки 28.01.2023 г., принята 30.01.2023 г.

Аннотация. Изучена групповая изменчивость морфологических признаков листа *Betula pendula* Roth в градиентах неблагоприятных погодных условий и техногенной трансформации почвы. Исследования проведены в 2016 – 2019 гг. на территории Притагильской зоны Среднего Урала. Установлено, что большинство изученных признаков листа имеют средний уровень варьирования, высокий – характерен индексу формы, низкий – индексу листовой пластинки и углам между главной и боковой жилкой первого порядка, расположенным в средней и верхней частях листа. В градиенте ухудшения погоды изменчивость признаков повышается, в градиенте техногенной трансформации почв – снижается. Методом главных компонент выделены морфологические признаки, которые вносят наибольший вклад в изменчивость размера и формы листа. В большей степени изменчивость листа определяют мерные признаки. Аллометрические признаки более стабильны. Для оценки устойчивости организма к неблагоприятным факторам предложено использовать коэффициент стабильности, отражающий количество переходов признаков с одного уровня изменчивости на другой. Данный показатель возрастает как в градиенте техногенной трансформации почв, так и в градиенте неблагоприятности погоды.

Ключевые слова: *Betula pendula*, групповая изменчивость, морфологические признаки листа, погодные условия, техногенная трансформация почвы

Для цитирования. Жуйкова Т. В., Мелинг Э. В., Попова А. С. Групповая изменчивость морфологических признаков листа *Betula pendula* Roth (Betulaceae, Magnoliópsida) в градиентах погодных условий и техногенной трансформации почв // Поволжский экологический журнал. 2023. № 1. С. 37 – 57. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-37-57>

✉ Для корреспонденции. Кафедра естественных наук и физико-математического образования Нижнетагильского государственного социально-педагогического института (филиал) ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет».

ORCID и e-mail адреса: Жуйкова Татьяна Валерьевна: <https://orcid.org/0000-0001-8658-7372>, hbfnt@rambler.ru; Мелинг Элеонора Васильевна: meling-e@mail.ru; Попова Анастасия Сергеевна: stassy.popova@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение морфологической структуры растений и изменчивости отдельных признаков дает представление об их адапционных механизмах в условиях действия неблагоприятных факторов окружающей среды. При изучении изменчивости растений наиболее часто используют органы с дифференцированным и ограниченным ростом (Абдуллаева и др., 2008). В качестве такого объекта исследования может выступать лист, выполняющий важные физиологические функции (Хикматуллина, 2013). Совокупность данных по всем проявлениям изменчивости вместе с данными о параметрах роста и развития дают достаточно наглядную картину о воздействии конкретного неблагоприятного фактора на организм или популяцию (Малков, Нурминская, 2019).

Результаты исследований влияния техногенного загрязнения окружающей среды на морфологические признаки листа и их изменчивость в литературе представлены достаточно широко, например, автотранспортного загрязнения (Савинов, Солошенко, 2002; Турмухаметова, 2005; Дрожжина, 2019; Клевцова, Михеев, 2020а); урбаноусреды (Полонский, Полякова, 2014; Савинцева, 2015; Клевцова, Юранова, 2017; Клевцова, Михеев, 2020б; Кожевников и др., 2022); техногенного загрязнения воздушного бассейна (Мазная, Лянгузова, 2010; Зиятдинова и др., 2012; Убаева, Муцалова, 2013; Соколова, Еремина, 2014). Влияние погодных условий изучено в меньшей степени (Банаев, 1996; Мигалина и др., 2009; Магомедова, 2019; Кириллова, Кириллов, 2021, 2022; Givnish, 1984; Warren et al., 2006). Особый интерес имеет исследование сочетанного действия экологических факторов на морфологическую структуру и изменчивость листьев растений.

Цель работы – определить групповую изменчивость в градиентах техногенной трансформации окружающей среды и неблагоприятных погодных условий и выявить морфологические признаки, которые вносят наибольший вклад в изменение формы и размеров листа *Betula pendula*.

Обсуждается гипотеза: реакция растений по показателю изменчивости морфологических признаков листа на исследуемые градиенты зависит от природы действующего фактора. Техногенная трансформация почвы способствует выработке устойчивости организма к погодным условиям. Следствием этого является низкая изменчивость признаков у растений техногенно нарушенных территорий по сравнению с фоновыми независимо от степени благоприятности погоды.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объект исследования: береза повислая (*Betula pendula* Roth, 1788), семейство березовые (Betulaceae S. F. Gray) (Князев и др., 2018). Число хромосом $2n = 28$ (42) (Числа хромосом..., 1990). Листья до 7 см длиной, бывают яйцевидной, ромбической или треугольно-ромбической формы, ширококлиновидные в основании, длиннозаостренные на верхушке. По краю – двоякоострозубчатые (кроме основания). Длина черешка 2–3 см (Булыгин, 1991; Горчаковский и др., 1994; Попова и др., 2005; Абаймов, 2009; Декоративные растения..., 2013). *B. pendula* относится к растениям с широким ареалом обитания, распространена в разных природно-климатических зонах. Пластичная в отношении эдафических факторов: светолю-

бивый мезофит, микротерм, мезотроф, эдификатор коренных березовых лесов, антропогенно-прогрессивный неустойчивый эдификатор временных фитоценозов на гарях и вырубках и ассектатор коренных хвойных и широколиственных лесов (Декоративные растения..., 2013).

Сбор материала выполнен в пяти фитоценозах Притагильской зоны Среднего Урала (60° в.д., 58° с.ш., таежная географическая зона, подзона южной тайги). Места сбора материала различаются эдафическими условиями, связанными с особенностями физико-химического состава почв и загрязнением их тяжелыми металлами (Жуйкова и др., 2015). В качестве показателя техногенной трансформации почв выступает индекс суммарной токсической нагрузки (Z) (Безель и др., 1998). В соответствии с последним исследованные территории отнесены к фоновой (Ф), буферной (Б-1 и Б-2) и импактной (И-1 и И-2) зонам загрязнения. Названия зон даны в соответствии с номенклатурой ЮНЕП (Global..., 1973). Характеристика почв, растительных сообществ и почвенных микробиоценозов данных территорий подробно описаны в наших предыдущих исследованиях (Ившина и др., 2014; Жуйкова и др., 2015). В табл. 1 дана краткая характеристика участков.

Таблица 1. Характеристика участков сбора биологического материала

Table 1. Characteristics of the sites for collecting biological material

Участок / Site	Географическое положение / Geographic location	Z, отн. ед. / Z, rel. units	Древесный ярус фитоценозов / Tree layer of phytocenoses
Фон (Ф) / Background (B)	57°57'50" N, 60°15'11" E	1.0	Формула древостоя – 7Б3Е, сомкнутость крон – 0.6, высота – 15 – 18 м / Forest stand ratio – 7B3S, crown density – 0.6, height – 15–18 m
Буфер-1 (Б-1) / Buffer-1 (B-1)	57°52'18" N, 59°59'39" E	3.33	Формула древостоя – 8Б2Ос, сомкнутость крон – 0.8, высота яруса – 13 – 16 м / Forest stand ratio – 8B2As, crown density – 0.8, height of layer – 13–16 m
Буфер-2 (Б-2) / Buffer-2 (B-2)	57°58'13" N, 59°58'35" E	6.19	Формула древостоя – 7Б3С, сомкнутость крон – 0.6, высота яруса – 10 – 12 м / Forest stand ratio – 7B3P, crown density – 0.6, height of layer – 10–12 m
Импакт-1 (И-1) / Impact-1 (I-1)	57°54'14" N, 59°54'41" E	22.78	Древостой двухярусный, сомкнутость крон – 0.8, высота – 10 – 18 м; 1-й ярус: формула 7Б3Ос, сомкнутость крон – 0.3, высота 15 – 18 м; 2-й ярус: формула 8Б 2И, сомкнутость крон – 0.6, высота 10 – 14 м / two-layer forest stand, crown density – 0.8, height – 10–18 m; the first layer: forest stand ratio – 7B3As, crown density – 0.3, height 15 – 18 m; the second layer: forest stand ratio – 8B2W, crown density – 0.6, height 10–14 m
Импакт-2 (И-2) / Impact-2 (I-2)	57°58'12" N, 59°57'21" E	30.0	Формула древостоя – 8Б2И, сомкнутость крон – 0.8, высота 10 – 12 м / Forest stand ratio – 8B2W, crown density – 0.8, height 10–12 m

Примечание. Z – индекс суммарной токсической нагрузки.

Note. Z is the total toxic load index.

Листья отбирали в июле 2016 – 2019 гг. Для оценки погодных условий использован интегральный показатель степени благоприятности погоды (СБП, балл) (Жуйкова и др., 2022). Последний базируется на факторах, которые вносят наибольший вклад в

общую изменчивость погоды в период вегетации и сбора материала. На основании соответствия погодных факторов климатической норме, характерной для данной местности, и оптимальным значениям гидротермического коэффициента Т. Г. Селянинова (ГТК) в итоге вычислен средний балл благоприятности погоды для каждого исследуемого года. С учетом балльной оценки исследуемые сезоны наблюдений ранжированы следующим образом, образуя градиент благоприятности погоды, балл: 2017 г. – СБП = 3.24, 2016 г. – 3.38, 2018 г. – 3.43, 2019 г. – 4.00.

Таким образом, в работе рассмотрено влияние на групповую изменчивость морфологических признаков листа двух экологических факторов – техногенной трансформации почв и степени благоприятности погоды.

Материал собран на опушках лесных сообществ с преобладанием березы. Листья отбирали после остановки роста, с учетом отсутствия признаков заболеваний и повреждений. Сбор листьев выполнен с деревьев, находящихся в средневозрастном онтогенетическом состоянии, в пределах нижней части кроны, на уровне поднятой руки, с веток максимально доступных, расположенных с четырех сторон света. Для анализа изменчивости морфологических признаков листа в каждом фитоценозе отбирали по 10 листьев с укороченных побегов с 20 деревьев *B. pendula*. Материал фиксировали методом гербаризации (Жуйкова и др., 2020). Далее листья сканировали с адаксиальной стороны с помощью многофункционального устройства Samsung SCX-3400 (Samsung, Корея) при разрешении 1275×1755 пикселей. Измерение морфологических признаков листа выполняли в программе Bio.exe. Полученные числовые значения преобразовывали из пикселей в миллиметры.

Измеряли следующие морфологические признаки листа: парные (19 признаков с правой и с левой сторон листа): длины первых от основания пяти боковых жилок (БЖ) первого порядка, углы между центральной и первыми пятью БЖ первого порядка, расстояние между концами первых пяти БЖ первого порядка, расстояние между основаниями первых пяти БЖ первого порядка, ширина половины листовой пластинки (ШПЛ); непарные (5 признаков): расстояние от кончика листовой пластинки (ЛП) до ее самой широкой части, длина листовой пластинки (ДЛП), ширина листовой пластинки (ШЛП – измеряли в ее самой широкой части), длина черешка (ДЧ), расстояние от самой широкой части ЛП до ее основания (рассчитывали как разность между длиной ЛП и расстоянием от ее кончика до самой широкой части). Также анализировали четыре аллометрических параметра: индекс формы (ИФ) – отношение расстояния от верхушки листовой пластинки до самого широкого места к расстоянию от самого широкого места до основания ЛП, индекс листовой пластинки (ИЛП) – отношение длины листовой пластинки к ее ширине, индекс листа (ИЛ) – отношение длины листовой пластинки к длине черешка, индекс вытянутости верхушки (ИВВ) – отношение расстояния от кончика до самого широкого места листовой пластинки к ДЛП.

Всего проведено 58750 измерений. Учитывая замечания методического характера (Лайус и др., 2009; Козлов, 2017), сбор биологического материала, его камеральная обработка и измерения выполнены одним оператором с использованием единых методических подходов, одного оборудования и программного обеспечения (см. выше).

Статистический анализ результатов. Степень изменчивости признаков оценивали на основании значений коэффициента вариации (C_v) и его ошибки (S_{Cv}). Для определения уровня групповой изменчивости использовали шкалу С. А. Мамаева (1970): очень низкий уровень – $C_v < 7\%$; низкий – $C_v 8 - 12\%$; средний – $C_v 13 - 20\%$; повышенный – $C_v 21 - 30\%$; высокий – $C_v 31 - 40\%$; очень высокий – $C_v > 40\%$. Дальнейший анализ включал вычисление средней арифметической C_v и стандартного отклонения ($m \pm SE$). Зависимость групповой изменчивости от техногенной трансформации почвы и степени благоприятности погоды оценивали с помощью ранговой корреляции Спирмена (R_s), влияние факторов – двухфакторным дисперсионным анализом (модель с фиксированными эффектами), вычисляли F – критерий и долю влияния фактора (%). Для попарных сравнений использован критерий χ^2 . Выделение морфологических признаков листа, вносящих наибольший вклад в его изменчивость и определяющих форму и размеры листа, выполнено факторным анализом (методы: главных компонент и факторов максимальной вероятности; вращение (поворот): варимаксимальное нормализованное). Статистический анализ данных выполнен в ПСП Statistica v. 13.0 (StatSoft, Inc., 2018).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Средний уровень изменчивости признаков. На основании средних значений коэффициентов вариации каждого изученного морфологического признака они разделены на четыре группы (табл. 2). Больше число признаков имеют средний уровень варьирования, высокий – индекс формы, низкий – ИЛП и углы средней и верхней части листа. Интерес представляют признаки, которые изменяют уровень варьирования в разных частях листа. Так, признак «длина жилки» повышает уровень изменчивости от основания к верхушке листа. Признаки «расстояние между основаниями боковых жилок первого порядка» и «угол» – понижают уровень варьирования от основания к верхушке.

Таблица 2. Характеристика морфологических признаков по уровню изменчивости
Table 2. Characterization of morphological features by the level of variability

Признаки / Features	Коэффициент вариации, % / The coefficient of variation, %	Уровень изменчивости (диапазон по С. А. Мамаеву, 1970) / Variability level (range according to S. A. Mamaev, 1970)
1	2	3
Индекс листовой пластинки / Leaf area index	9.19	Низкий / Low (8.00–12.99)
Угол 2, 3, 4, 5 / Angle 2, 3, 4, 5	11.32–12.92	
Угол 1 / Angle 1	15.34	
Длина 1, 2, 3 боковых жилок / Length of 1, 2, 3 lateral veins	14.94–17.87	Средний / Middle (13.00–20.99)
Расстояние между основаниями боковых жилок первого порядка 2–3, 3–4, 4–5 / Distance between the bases of the lateral veins of the first order 2–3, 3–4, 4–5	17.34–18.92	
Расстояние между концами боковых жилок первого порядка 1–2; 2–3; 3–4; 4–5 / Distance between the ends of the lateral veins of the first order 1–2; 2–3; 3–4; 4–5	17.73–20.26	
Расстояние от кончика листа до самого широкого места / Distance from leaf tip to the widest part	17.96	

Окончание табл. 2
Table 2. Continuation

1	2	3
Ширина листовой пластинки / Lamina width	14.72	Средний / Middle (13.00–20.99)
Длина листовой пластинки / Lamina length	14.51	
Ширина половинки листа / Half leaf width	15.65	
Индекс листа / Leaf index	20.58	
Длина 4, 5 боковых жилок / Length of 4, 5 lateral veins	23.08–29.18	Повышенный / Heightened (21.00–30.99)
Расстояние между основаниями боковых жилок первого порядка 1–2 / Distance between the bases of the lateral veins of the first order 1–2	24.36	
Расстояние от самой широкой части до основания листовой пластинки / Distance from the widest part to the base of the leaf blade	25.48	
Длина черешка / Petiole length	21.51	
Индекс формы / Shape index	31.40	Высокий / High (31.00–40.99)

Уровень варьирования морфологических признаков листа в градиентах экологических факторов. Анализ изменения уровней варьирования признаков проведен: 1) в градиенте техногенной трансформации почвы отдельно в благоприятный (СБП = 4.0 балла) и неблагоприятный (СБП = 3.24 балла) годы; 2) в градиенте неблагоприятности погоды (СБП: 4.0 → 3.24 балла) у растений, произрастающих в пределах каждого исследуемого участка.

Средние значения коэффициентов вариации всех признаков листа для каждого участка в определенный год представлены в табл. 3. Почти все показатели укладываются в диапазон изменчивости среднего уровня. Исключение составляют средние значения коэффициентов вариации признаков листа растений фонового участка в год с СБП = 3.43 балла (слева и справа) и в год с СБП = 3.24 балла (слева). В градиенте неблагоприятности погоды исследуемый показатель у растений со всех участков увеличивается, однако статистически значимая отрицательная зависимость от фактора установлена только в импактной зоне, что подтверждено методом ранговой корреляции Спирмена (см. табл. 3). В градиенте техногенной трансформации почв показатель снижается в период исследования. Значимая зависимость изменчивости от этого фактора только в благоприятный год (см. табл. 3).

В целом влияние техногенной трансформации почв и степени благоприятности погоды на исследуемый показатель статистически значимо, что подтверждено двухфакторным дисперсионным анализом ($F_{\text{токсич. нагр.}} = 4.99 - 6.05$, $df = 4$, 539, $p < 0.0006 - 0.0001$; $F_{\text{СБП}} = 2.70 - 2.91$, $df = 3$; 539, $p < 0.03 - 0.04$ с левой и с правой стороны соответственно). Доля объясненной дисперсии первым фактором – 3.84 – 4.66%, вторым – 1.56 – 1.67%.

Изменение средних значений коэффициентов вариации обусловлено частотой встречаемости признаков, характеризующихся разными уровнями изменчивости. Проанализировано распределение признаков по категориям изменчивости на каждом участке в определенный год. Так как изменение средних значений коэффициентов вариации всех признаков с левой и правой сторон листа в исследуемых градиентах имеет сходную закономерность, дальнейший анализ выполнен только по признакам левой стороны листа.

ГРУППОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТА

Таблица 3. Среднее значение коэффициентов вариации всех признаков листа для каждого участка в определенный год

Table 3. Average value of the coefficients of variation of all leaf traits for each site in a certain year

Участки / Sites	Степень благоприятности погоды, балл / Degree of weather favorability, points				R_s	p
	4.0	3.43	3.38	3.24		
Левая сторона листа / Left side of leaf						
Фон / Background	19.28±5.84	22.06±6.47	20.35±5.84	21.28±7.01	-0.07	0.440
Буфер-1 / Buffer-1	18.82±5.09	16.10±8.01	17.34±4.68	19.21±7.87	0.02	0.860
Буфер-2 / Buffer-2	16.25±5.26	17.54±6.78	16.65±5.00	18.24±5.64	-0.16	0.097
Импакт-1 / Impact-1	15.90±4.63	18.70±5.58	19.16±5.41	19.57±5.91	-0.23	0.015
Импакт-2 / Impact-2	15.48±4.84	18.06±7.45	18.15±5.98	18.14±5.59	-0.21	0.026
R_s	-0.29	-0.11	-0.09	-0.11		
p	0.0005	0.222	0.310	0.215		
Правая сторона листа / Right side of leaf						
Фон / Background	19.76±5.36	21.90±6.69	20.03±6.22	20.87±6.69	-0.01	0.940
Буфер-1 / Buffer-1	19.19±5.51	16.16±8.06	17.19±4.36	19.28±7.39	0.01	0.920
Буфер-2 / Buffer-2	16.90±6.16	17.95±7.04	16.24±4.99	18.29±5.66	-0.09	0.337
Импакт-1 / Impact-1	15.72±4.49	18.67±5.43	18.89±5.08	20.06±5.72	-0.28	0.003
Импакт-2 / Impact-2	15.29±4.79	18.29±7.72	18.68±6.09	18.65±5.90	-0.26	0.006
R_s	-0.33	-0.08	-0.04	-0.064		
p	0.0001	0.358	0.648	0.459		

Примечание. Зависимость от погоды – $N = 108$, зависимость от техногенной трансформации почв – $N = 135$.

Note. Weather dependence – $N = 108$, dependence on technogenic soil transformation – $N = 135$.

В градиенте неблагоприятности погоды на фоновом участке в благоприятный год большая доля признаков (48%) характеризуется средним уровнем изменчивости, в неблагоприятный год часть признаков переходит в категорию с повышенным уровнем изменчивости (табл. 4). В результате изменяется соотношение долей признаков со средним ($\chi^2 = 6.81$, $p = 0.009$) и повышенным ($\chi^2 = 4.67$, $p = 0.031$) уровнями изменчивости и в градиенте ухудшения погоды на фоновом участке изменчивость признаков повышается (см. табл. 3).

Умеренная техногенная нагрузка (Буфер-1) меняет соотношение групп лишь незначительно (низкий уровень: $\chi^2 = 0.57$, $p = 0.450$; средний: $\chi^2 = 0.93$, $p = 0.334$).

Повышенная техногенная нагрузка (Буфер-2, Импакт-1, Импакт-2) увеличивает чувствительность *B. pendula* к погоде: в неблагоприятный год по сравнению с благоприятным снижается число признаков с низким уровнем изменчивости (Б-2: $\chi^2 = 4.39$, $p < 0.036$; И-1: $\chi^2 = 6.81$, $p = 0.009$; И-2: $\chi^2 = 3.71$, $p = 0.054$) и увеличивается со средним (Б-2: $\chi^2 = 5.06$, $p = 0.025$) или повышенным (И-1: $\chi^2 = 23.39$, $p < 0.001$; И-2: $\chi^2 = 14.32$, $p = 0.0002$). Следствием этого является статистически значимое повышение изменчивости у растений на техногенно нарушенных территориях.

В градиенте техногенной трансформации почвы в благоприятный год увеличивается число признаков с низким (Фон по сравнению с Импакт-2: $\chi^2 = 3.71$, $p = 0.054$) и средним ($\chi^2 = 7.39$, $p = 0.007$) уровнями изменчивости и уменьшается с повышенным ($\chi^2 = 27.89$, $p < 0.001$). Это приводит к снижению среднего уровня изменчивости. В неблагоприятный год число признаков со средним уровнем увеличивается ($\chi^2 = 17.03$, $p = 0.0001$), а с повышенным уменьшается ($\chi^2 = 14.86$,

$p = 0.0001$), что также сопровождается снижением среднего уровня изменчивости в градиенте техногенной трансформации почвы.

Таблица 4. Распределение признаков (шт. / %) по уровням изменчивости в исследуемых градиентах (левая сторона листа)

Table 4. Distribution of features (pieces / %) by variability levels in the studied gradients (left side of the leaf)

Уровень изменчивости / Variability level	Степень благоприятности погоды, балл / Weather favorability degree, points			
	4.0	3.43	3.38	3.24
Фон / Background				
Низкий / Low	4 / 14.8	3 / 11.1	4 / 14.8	4 / 14.8
Средний / Middle	13 / 48.1	10 / 37.0	8 / 29.6	8 / 29.6
Повышенный / Heightened	9 / 33.3	11 / 40.7	14 / 51.9	13 / 48.1
Высокий / High	1 / 3.7	3 / 11.1	1 / 3.7	2 / 7.4
Очень высокий / Very high	0	0	0	0
Буфер-1 / Buffer-1				
Низкий / Low	5 / 18.5	10 / 37.0	4 / 14.8	4 / 14.8
Средний / Middle	17 / 63.0	14 / 51.9	19 / 70.4	16 / 59.3
Повышенный / Heightened	5 / 18.5	1 / 3.7	4 / 14.8	5 / 18.5
Высокий / High	0	1 / 3.7	0	1 / 3.7
Очень высокий / Very high	0	1 / 3.7	0	1 / 3.7
Буфер-2 / Buffer-2				
Низкий / Low	6 / 22.2	8 / 29.6	5 / 18.5	3 / 11.1
Средний / Middle	16 / 59.3	13 / 48.1	18 / 66.7	18 / 66.7
Повышенный / Heightened	5 / 18.5	4 / 14.8	3 / 11.1	4 / 14.8
Высокий / High	0	2 / 7.4	1 / 3.7	2 / 7.4
Очень высокий / Very high	0	0	0	0
Импакт-1 / Impact-1				
Низкий / Low	8 / 29.6	4 / 14.8	4 / 14.8	4 / 14.8
Средний / Middle	16 / 59.3	14 / 51.9	15 / 55.6	11 (40.7)
Повышенный / Heightened	3 / 11.1	9 / 33.3	7 / 25.9	11 (40.7)
Высокий / High	0	0	1 / 3.7	1 / 3.7
Очень высокий / Very high	0	0	0	0
Импакт-2 / Impact-2				
Низкий / Low	7 (25.9)	6 / 22.2	3 / 11.1	4 (14.8)
Средний / Middle	18 / 66.7	15 / 55.6	17 / 63.0	16 / 59.3
Повышенный / Heightened	1 / 3.7	5 / 18.5	6 / 22.2	6 (22.2)
Высокий / High	1 / 3.7	0	1 / 3.7	1 / 3.7
Очень высокий / Very high	0	1 / 3.7	0	0

Стабильность признаков в исследуемых градиентах условий. Для характеристики способности признаков переходить из одной категории по шкале изменчивости С. А. Мамаева (1970) в другую, либо сохранять уровень изменчивости использован коэффициент стабильности (КС) – отношение оставшихся неизменными за какой-либо период времени показателей к их общему числу (Нормирование..., 1982). В нашем случае в качестве показателя выступает уровень изменчивости конкретного морфологического признака в градиенте неблагоприятных условий. Коэффициент стабильности признака вычисляли как отношение количе-

ГРУППОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТА

ства неизменных уровней к общему их числу. КС установлены для всех исследуемых морфологических признаков листа в градиенте неблагоприятных погодных условий и техногенной трансформации почв (табл. 5). Средние значения КС представлены для всего комплекса изучаемых признаков в градиенте погоды для каждого участка и в градиенте техногенной нагрузки для каждого года.

Таблица 5. Коэффициент стабильности (КС) признаков в исследуемых градиентах
Table 5. Stability coefficient (SC) of features in the studied gradients

Признаки / Features	КС в градиенте погоды (на разных участках) / SC in the weather gradient (on different sites)					КС в градиенте техногенной трансформации почв (в разные годы) / SC in the gradient of technogenic soil transformation (in different years)			
	Фон / Background	Буфер-1 / Buffer-1	Буфер-2 / Buffer-2	Импакт-1 / Impact-1	Импакт-2 / Impact-2	4.00	3.4	3.38	3.24
ДЖ 1 / VL 1	0.5	1**	1**	1**	1**	1**	0.8	0.8	1**
2	0.5	0.75	0.75	1**	0.75	0.8	0.4	0.8	1**
3	0.75	0.75	1**	0.75	1**	1**	0.6	0.6	0.8
4	0.75	0.5	0.75	0.75	0.75	0.6	0.6	0.6	0.8
5	1****	0.5	0.5	0.5	1***	0.6	0.4	0.6	0.8
РМКЖ 1-2 / DBEV 1-2	0.75	1**	1**	0.75	1**	1**	0.6	0.8	0.8
2-3	0.5	1**	1**	1**	0.75	0.8	1**	0.8	0.8
3-4	0.75	1**	1**	0.75	0.5	1**	1**	0.8	0.6
4-5	0.5	0.75	1**	0.75	0.5	0.8	0.6	0.6	0.6
РМОЖ 1-2 / DBBV 1-2	0.75	0.75	0.5	0.75	0.75	0.8	0.6	0.6	0.8
2-3	1***	1**	1**	0.75	1**	0.8	0.8	0.8	0.6
3-4	0.75	1**	0.75	1**	1**	0.8	0.8	0.8	0.8
4-5	1***	1**	1**	1**	1**	0.8	0.8	0.8	0.8
Угол 1 / Angle 1	1**	0.75	1**	0.5	0.75	0.6	1**	1**	0.8
2	0.75	0.75	0.75	0.75	0.5	0.8	0.6	0.8	1**
3	0.75	1*	1*	1*	1*	1*	1*	0.8	1*
4	1*	1*	0.75	1*	0.75	0.6	1*	1*	1*
5	0.5	0.75	0.75	0.5	0.75	0.8	0.6	0.6	0.8
ШПЛ / HLW	0.75	0.75	0.5	1*	0.75	0.6	0.6	0.8	1**
ДЛП / LL	0.75	0.75	0.5	0.75	0.5	0.6	0.6	0.6	1**
ШЛП / LW	0.75	0.75	0.75	0.75	1**	0.6	0.6	0.6	1**
ДЧ / PL	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.8	0.6	0.6	0.8
РКШМ / DEWP	0.5	0.75	1**	0.5	1**	0.8	0.8	0.8	0.6
РШО / DWB	0.75	0.5	1***	0.5	1***	0.6	0.8	0.8	0.8
ИФ / SI	0.75	0.75	0.5	1***	0.75	0.8	0.6	0.8	0.6
ИЛП / LAI	1*	1*	1*	1*	0.5	0.8	1*	1*	0.8
ИЛ / LI	0.5	0.75	0.5	0.75	0.5	0.8	1***	0.8	0.6
Среднее значение КС / CS average value	0.74	0.81	0.81	0.80	0.80	0.77	0.73	0.76	0.81

Примечание. Стабильность: * – на низком уровне, ** – на среднем, *** – на повышенном, **** – на высоком уровне изменчивости. ДЖ – длина жилки, РМКЖ – расстояние между концами боковых жилок, РМОЖ – расстояние между основаниями боковых жилок, ШПЛ – ширина половинки листа, ШЛП – ширина листовой пластинки, ДЛП – длина листовой пластинки, ДЧ – длина черешка, РКШМ – расстояние от кончика листа до самого широкого места, РШО – расстояние от самой широкой части до основания листовой пластинки, ИФ – индекс формы, ИЛП – индекс листовой пластинки, ИЛ – индекс листа.

Note. Stability: * – low level, ** – middle level, *** – heightened level, **** – high level of variability. VL – vein length, DBEV – distance between ends of lateral veins, DBBV – distance between bases of lateral veins, HLW – half leaf width, LW – lamina width, LL – lamina length, PL – petiole length, DEWP – distance from leaf tip to the widest part, DWB – distance from the widest part to the base of the leaf blade, SI – shape index, LAI – leaf area index, LI – leaf index.

Выявлена тенденция увеличения средних значений КС в градиенте неблагоприятности погоды, с ростом техногенной трансформации почвы с 0.74 на участке Фон до 0.80 на техногенно нарушенных территориях. Аналогичная картина показана для КС, полученного в градиенте техногенной трансформации почвы, при усилении неблагоприятности погоды. Следовательно, реакция растения на неблагоприятные факторы проявляется в повышении устойчивости признаков листа, связанной со снижением количества переходов исследуемых признаков с одного уровня изменчивости на другой.

Представляет интерес оценить КС при действии одного неблагоприятного фактора: в градиенте неблагоприятности погоды у растений на участке Фон и в градиенте техногенной трансформации почв в благоприятный год. Это позволяет сравнить степень влияния разных факторов на коэффициент стабильности признаков. Так, КС в первом случае равен 0.74, во втором – 0.77, что свидетельствует о сходстве влияния факторов на способность признаков сохранять уровень изменчивости в пределах конкретной категории. Таким образом, можно говорить о неспецифичности реакции березы повислой на действие исследуемых неблагоприятных факторов, проявляющейся в повышении стабильности признаков по уровню изменчивости. При этом стабильность признаков может сохраняться на разных уровнях: низком, среднем, повышенном.

Выделение морфологических признаков, которые вносят наибольший вклад в изменчивость листа. Важное значение имеет определение морфологических признаков, которые вносят наибольший вклад в общую изменчивость листа *B. pendula*. Выделение группы диагностических признаков выполнено факторным анализом (методы: главных компонент и факторов максимальной вероятности). В анализ включены все исследуемые морфологические признаки листа. Выделение диагностических признаков проведено для каждой территории отдельно. Результаты представлены в табл. 6.

С помощью критерия каменистой россыпи (критерий отсеивания) было выделено два фактора (F1 и F2), которые определяют максимальные факторные нагрузки. В нашем исследовании доля дисперсии, объясненная F1 и F2, на всех участках составляет от 56 до 65% (табл. 6). Первый главный фактор (F1), лежащий вдоль оси абсцисс, объясняет максимальную долю дисперсии – от 36 до 48% на всех участках. Второй (F2), лежащий вдоль оси ординат, образуют переменные, чье взаимодействие определяет наибольшую долю оставшейся общей дисперсии. В нашем случае он детерминирует от 15 до 22% дисперсии.

Величина факторной нагрузки не превышает по модулю 1. Знак говорит о положительной / отрицательной связи признака с фактором. Так как сильной считается корреляция с коэффициентом Пирсона $r \geq 0.7$, то в нагрузках уделено внимание только сильным связям (в табл. 6 выделено жирным). Значение факторной нагрузки близкое к нулю означает, что фактор практически не влияет на данный признак или влияет слабо.

Установлено, что наибольшие факторные нагрузки по первому фактору на всех территориях получают 1 – 8 переменные (длина 1 – 4-й боковых жилок первого порядка), 11 – 16 переменные (расстояние между концами этих же жилок), 25 –

ГРУППОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТА

Таблица 6. Матрица факторных нагрузок, отражающая степень линейной связи исследуемых морфологических признаков листа *Betula pendula* с каждым общим фактором (результаты факторного анализа)

Table 6. Matrix of factor loadings, reflecting the degree of linear relationship of the studied morphological features of the leaf of *Betula pendula* with each common factor (factor analysis results)

Переменная / Variable				Факторные нагрузки / Factor loads									
Признаки листа / Leaf features	№ жилки / Vein number	Сторона листа / Side of leaf	№ признака / Feature number	Фон / Background		Буфер-1 / Buffer-1		Буфер-2 / Buffer-2		Импакт-1 / Impact-1		Импакт-2 / Impact-2	
				F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Длина боковых жилок первого порядка / Length of lateral veins of the first order	1	л / l	1	0.88	-0.37	0.76	-0.53	0.78	-0.45	0.87	-0.34	0.93	-0.11
		п / r	2	0.87	-0.37	0.75	-0.52	0.78	-0.46	0.81	-0.34	0.93	-0.08
	2	л / l	3	0.96	-0.18	0.89	-0.34	0.93	-0.22	0.95	-0.14	0.97	0.08
		п / r	4	0.96	-0.21	0.87	-0.29	0.93	-0.21	0.95	-0.15	0.96	0.08
	3	л / l	5	0.95	0.03	0.92	0.03	0.93	0.15	0.93	0.16	0.87	0.30
		п / r	6	0.95	0.00	0.90	-0.03	0.88	0.18	0.93	0.15	0.89	0.30
	4	л / l	7	0.88	0.17	0.81	0.34	0.78	0.44	0.83	0.37	0.75	0.47
		п / r	8	0.88	0.16	0.84	0.27	0.77	0.48	0.82	0.40	0.72	0.46
	5	л / l	9	0.79	0.27	0.67	0.46	0.67	0.55	0.71	0.51	0.62	0.53
		п / r	10	0.79	0.25	0.69	0.45	0.63	0.60	0.71	0.51	0.57	0.53
Расстояние между конца- ми боковых жилок первого порядка / The distance between the ends of the lateral veins of the first order	1 и 2	л / l	11	0.86	0.02	0.75	-0.11	0.70	0.03	0.83	0.00	0.76	0.29
		п / r	12	0.83	0.03	0.74	-0.16	0.70	-0.05	0.82	-0.03	0.78	0.24
	2 и 3	л / l	13	0.84	0.22	0.80	0.07	0.76	0.08	0.86	0.09	0.80	0.41
		п / r	14	0.81	0.15	0.80	0.02	0.75	0.16	0.81	0.15	0.77	0.41
	3 и 4	л / l	15	0.81	0.26	0.77	0.18	0.71	0.15	0.85	0.17	0.76	0.46
		п / r	16	0.78	0.20	0.80	0.08	0.66	0.20	0.79	0.17	0.76	0.46
	4 и 5	л / l	17	0.68	0.28	0.78	0.24	0.69	0.32	0.75	0.27	0.67	0.51
		п / r	18	0.78	0.26	0.76	0.21	0.72	0.24	0.76	0.31	0.68	0.51
Расстояние между основа- ниями боковых жилок первого порядка / Distance between the bases of the lateral veins of the first order	1 и 2	л / l	19	0.37	-0.60	0.33	-0.54	0.00	-0.58	0.41	-0.49	0.51	-0.32
		п / r	20	0.40	-0.53	0.30	-0.51	0.00	-0.63	0.36	-0.55	0.43	-0.29
	2 и 3	л / l	21	0.62	-0.51	0.42	-0.70	0.28	-0.75	0.53	-0.62	0.69	-0.28
		п / r	22	0.63	-0.47	0.43	-0.65	0.27	-0.72	0.58	-0.61	0.71	-0.25
	3 и 4	л / l	23	0.78	-0.24	0.66	-0.56	0.57	-0.56	0.76	-0.42	0.86	-0.09
		п / r	24	0.77	-0.33	0.66	-0.56	0.53	-0.59	0.74	-0.47	0.82	-0.12
	4 и 5	л / l	25	0.88	0.01	0.83	-0.12	0.76	-0.07	0.86	-0.12	0.88	0.19
		п / r	26	0.87	-0.01	0.85	-0.17	0.76	-0.09	0.87	-0.10	0.86	0.18
ДЛП / LL			27	0.96	-0.10	0.96	-0.10	0.92	-0.09	0.90	-0.11	0.96	0.02
ШЛП / LW			28	0.96	-0.02	0.96	-0.02	0.91	-0.22	0.92	-0.09	0.95	-0.03
ДЧ / PL			29	0.57	0.04	0.57	0.04	0.47	-0.24	0.54	-0.24	0.72	-0.06
Расстояние от кончика листовой пласти- нки до самого широкого места / Distance from tip of leaf blade to widest part			30	0.90	0.23	0.90	0.23	0.87	0.20	0.84	0.18	0.90	0.29
Ширина половинки листовой пластинки / Width of half of lamina	1	л / l	31	0.86	-0.07	0.76	-0.18	0.72	-0.13	0.88	-0.13	0.62	0.09
		п / r	32	0.87	-0.09	0.79	-0.18	0.75	-0.11	0.89	-0.12	0.69	0.15
	2	л / l	33	-0.12	0.69	-0.11	0.39	0.01	0.68	-0.13	0.41	0.07	0.55
		п / r	34	-0.13	0.56	-0.05	0.27	0.12	0.61	-0.18	0.38	0.07	0.55
	3	л / l	35	0.12	0.84	0.10	0.63	0.06	0.82	0.12	0.76	0.12	0.80
		п / r	36	0.04	0.79	0.16	0.58	0.08	0.79	0.07	0.74	0.10	0.86
	4	л / l	37	0.12	0.74	0.02	0.80	0.02	0.84	0.21	0.76	0.10	0.82
		п / r	38	0.06	0.76	0.15	0.72	0.04	0.80	0.10	0.72	0.04	0.87
	5	л / l	39	0.19	0.70	0.02	0.55	0.03	0.69	0.16	0.61	0.11	0.79
		п / r	40	0.03	0.71	0.00	0.57	-0.03	0.68	-0.03	0.62	0.02	0.80
		п / r	41	0.25	0.54	0.07	0.34	-0.02	0.57	0.20	0.47	0.11	0.61
		л / l	42	0.23	0.45	0.03	0.38	0.06	0.49	0.17	0.53	0.04	0.72

Окончание табл. 6
Table 6. Continuation

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Расстояние от самой широкой части листовой пластинки до основания / Distance from the widest part of the leaf blade to the base	43	0.67	-0.62	0.67	-0.62	0.28	-0.37	0.34	-0.57	0.54	-0.63		
ИФ / SI	44	0.15	0.76	0.15	0.76	0.18	0.54	0.18	0.62	0.21	0.75		
ИЛП / LAI	45	0.01	-0.17	0.01	-0.17	-0.01	0.22	-0.03	-0.03	0.02	0.12		
ИЛ / LI	46	0.30	-0.16	0.30	-0.16	0.14	0.15	0.09	0.20	-0.10	0.08		
Доля влияния группы, % / group influence percentage, %	48.2	17.0	40.6	15.4	35.8	22.3	46.5	17.5	48.0	16.5			
Совокупный, % / Total, %	65.24		55.98		58.05		63.97		64.47				

Примечание. Жирным шрифтом выделены значимые факторные нагрузки; п – правая сторона, л – левая сторона листа.

Note. Significant factor loadings are highlighted in bold; r – right side of the leaf, l – left side of the leaf.

26 переменные (расстояние между основаниями 4 – 5 боковых жилок), 27 – 28 (длина и ширина листовой пластинки), а также 31 – 32 переменная (ее ширина слева и справа), 30 переменная (расстояние от кончика листовой пластинки до самого широкого места). Эти переменные вносят наибольший вклад в изменение размеров и формы листа. Изменение формы листовой пластинки, обусловленное вытянутостью верхушки, связано в первую очередь, с увеличением расстояния между 4 – 5-й боковыми жилками первого порядка, расположенными в верхней части листа. С этим же признаком может быть связано изменение длины листовой пластинки и расстояние от ее кончика до самого широкого места.

Интенсивность ростовых процессов на разных этапах онтогенеза листа лежит в основе длины 1 – 4-й боковых жилок первого порядка, что, в свою очередь, определяет тип листовой пластинки по соотношению ее длины к ширине.

Второй фактор имеет выраженные нагрузки по 35 – 38-й переменным (углы между центральной и 2 – 3 боковыми жилками первого порядка), а также 44 переменной (индекс формы) на участках Фон, Буфер-1, Импакт-2. Эти переменные определяют форму основания листовой пластинки (степень его усеченности) и тип листа.

Таким образом, методом главных компонент выделены морфологические признаки, которые вносят наибольший вклад в изменчивость листа у растений с исследуемых территорий. В большей степени изменчивость листа определяют мерные признаки. Аллометрические признаки более стабильны.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По степени изменчивости морфологических признаков растений можно судить о влиянии экологических факторов среды на растительные организмы. В ходе исследования установлено, что большинство изученных признаков по среднему значению коэффициента вариации характеризуются средним уровнем изменчивости. В градиенте неблагоприятности погоды средние значения коэффициентов вариации всех признаков с левой и правой сторон листа увеличиваются. В боль-

шей степени эффект выражен на участках импактной зоны. В градиенте техногенной трансформации почв – снижаются.

Направление изменения коэффициентов вариации на градиенте неблагоприятных условий может выступать в качестве критерия адаптированности организма к ним. Единого мнения по поводу адаптивного характера изменчивости не существует. Снижение уровня изменчивости ряд авторов (Ловелиус, 1979; Северцов, 1990; Безель и др., 2001) характеризуют как показатель низкой устойчивости популяции к изменению условий окружающей среды. Другие же рассматривают низкую степень изменчивости в качестве показателя высокой адаптированности организмов к действию неблагоприятных факторов (Симинел, 1984; Авров, 1996; Титов, 1999; Машкина и др., 2009; Чернодубов, 2009; Чекменева, 2011).

Как показано выше, реакция растений по параметру изменчивости на два градиента противоположная. Направление изменения средних значений коэффициентов вариации в ответ на экологические факторы определяется поведением отдельных признаков листа. По этому показателю признаки можно разделить на три группы. Первая группа со специфичной разнонаправленной реакцией на техногенный и погодный фактор – изменчивость признаков в градиенте неблагоприятности погоды на фоновом участке повышается, в градиенте техногенной трансформации почв в благоприятный год – понижается. К этой группе относятся длина жилок, расстояние между основаниями и концами жилок, длина и ширина листовой пластинки, ширина половинки листа. Согласно результатам факторного анализа именно эти признаки входят в Фактор 1. Они вносят наибольший вклад в изменчивость размеров листа. Вторая группа – признаки с неспецифичной реакцией, проявляющейся в повышении их изменчивости в градиенте неблагоприятности условий: индекс формы, угол между главной жилкой и четвертой от основания листа БЖ первого порядка. Эти признаки входят в Фактор 2, который определяет форму листа. К этой же группе признаков относится расстояние от самого широкого места до основания листовой пластинки, однако данный признак не вошел в Фактор 1 и 2. Следовательно, он не является ведущим, определяющим размеры и форму листа. Третья группа – признаки с неспецифичной реакцией, проявляющейся в понижении изменчивости в градиенте неблагоприятности условий: длина черешка, индекс листовой пластинки, индекс листа, угол между главной жилкой и 1-й, 5-й БЖ первого порядка. Эти признаки не являются ведущими, определяющими размеры и форму листа. К этой же группе относится признак «расстояние от кончика листа до самого широкого места», который входит в Фактор 1 и имеет низкий коэффициент стабильности. Данный признак лежит в основе изменения формы верхушки листа.

Учитывая все вышесказанное, нельзя однозначно судить об адаптивном характере высокой или низкой изменчивости. В большей мере устойчивость организма к неблагоприятным факторам характеризует коэффициент стабильности, отражающий количество переходов признаков с одного уровня изменчивости на другой. У устойчивых к тому или иному экологическому фактору организмов наблюдается стабильное сохранение признака на одном и том же уровне изменчивости, т.е. у устойчивых к фактору организмов КС стремится к 1, у неустойчи-

вых к 0. Исходя из этого устойчивость растений повышается в градиентах техногенной трансформации и неблагоприятности погодных условий.

ВЫВОДЫ

1. Большое число изученных признаков имеют средний уровень варьирования, высокий – характерен ИФ, низкий – ИЛП и углам между главной и БЖ первого порядка, расположенным в средней и верхней частях листа. Выявлены признаки, которые изменяют уровень варьирования в разных частях листа: «длина жилки» повышает уровень изменчивости от основания к верхушке листа; «расстояние между основаниями боковых жилок первого порядка» и «угол» – понижают уровень варьирования от основания к верхушке.

2. В градиенте ухудшения погоды изменчивость признаков повышается, на фоновом участке за счет перехода части признаков из категории со средним уровнем изменчивости в категорию с повышенным, на импактных – за счет снижения числа признаков с низким уровнем изменчивости и увеличения с повышенным. В градиенте техногенной трансформации почв изменчивость признаков снижается, в благоприятный год за счет уменьшения частоты встречаемости признаков с повышенным уровнем изменчивости и повышения с низким и средним, в неблагоприятный – за счет увеличения числа признаков со средним уровнем и уменьшения с повышенным.

3. Наибольший вклад в изменчивость размеров листа вносят длина жилок, расстояние между основаниями и концами жилок, длина и ширина листовой пластинки, ширина половинки листа. Индекс формы, угол между главной жилкой и четвертой от основания листа БЖ первого порядка определяют форму листа. Расстояние от кончика листа до самого широкого места определяет как размер, так и форму верхушки листа.

4. Устойчивость организма к неблагоприятным факторам в большей мере характеризует коэффициент стабильности, отражающий количество переходов признака с одного уровня изменчивости на другой, который возрастает как в градиенте техногенной трансформации почв, так и в градиенте неблагоприятности погоды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абаимов В. Ф. Дендрология: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М. : Академия, 2009. 368 с.
- Абдуллаева С. Д., Асадулаев З. М., Алиев Х. У. Изменчивость количественных признаков листа *Rubus idaeus* L. // Труды Дагестанского отделения Русского ботанического общества. Махачкала : Алеф, 2008. С. 34 – 37.
- Авров Ф. Д. Экология и селекция лиственницы // Проблемы региональной экологии. Томск : Спектр, 1996. Вып. 7. 213 с.
- Бангаев Е. В. Ольха пушистая (*Alnus hirsuta* (Spach) Turcz. ex Rupr.) в Сибири и на Дальнем Востоке России : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1996. 19 с.
- Безель В. С., Жуйкова Т. В., Позолотина В. Н. Структура ценопопуляций одуванчика и специфика накопления тяжелых металлов // Экология. 1998. № 5. С. 376 – 382.
- Безель В. С., Позолотина В. Н., Бельский Е. А., Жуйкова Т. В. Изменчивость популяционных параметров: адаптация к токсическим факторам среды // Экология. 2001. № 6. С. 447 – 453.

ГРУППОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТА

- Булыгин Н. Е. Дендрология. Л. : Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. 352 с.
- Горчаковский П. Л., Шурова Е. А., Князев М. С., Марина Л. В., Морозова Л. М., Никонина Н. Н., Прямоноснова С. А., Салмина Н. П., Шлыкова Н. А., Беляева И. В., Баландин С. В., Васфилова Е. С., Фамелис Т. В., Троценко Г. В., Зуева В. Н., Мелинг Э. А. Определитель сосудистых растений Среднего Урала. М. : Наука, 1994. 525 с.
- Декоративные и лекарственные растения (открытый грунт) : каталог Ботанического сада Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. Горки : БГСХА, 2013. 308 с.
- Дрожжина В. Н. Изменение морфометрических показателей вегетативных органов *Tilia cordata* Roth. в условиях городской среды // Промышленная ботаника. 2019. Т. 19, № 3. С. 55 – 58.
- Жуйкова Т. В., Мелинг Э. В., Кайгородова С. Ю., Безель В. С., Гордеева В. А. Особенности почв и травянистых растительных сообществ в условиях техногенеза на Среднем Урале // Экология. 2015. № 3. С. 163 – 172. <https://doi.org/10.7868/S0367059715030130>
- Жуйкова Т. В., Попова А. С., Мелинг Э. В. Сравнительная оценка флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *Betula pendula* Roth при разных методах фиксации растительного материала // Самарский научный вестник. 2020. Т. 9, № 4. С. 58 – 65. <https://doi.org/10.17816/snv202094109>
- Жуйкова Т. В., Мелинг Э. В., Попова А. С. К методике оценки интегрального показателя степени благоприятности погодных условий для растений // Самарский научный вестник. 2022. Т. 11, № 2. С. 45 – 51. <https://doi.org/10.55355/snv2022112106>
- Зиятдинова К. З., Уразильдин Р. В., Денисова А. В. Морфология листьев и побегов дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях загрязнения окружающей среды (на примере Уфимского промышленного центра) // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14, № 1-6. С. 1466 – 1469.
- Ившина И. Б., Костина Л. В., Каменских Т. Н., Жуйкова В. А., Жуйкова Т. В., Безель В. С. Почвенный микробиоценоз как показатель стабильности луговых сообществ при химическом загрязнении среды тяжелыми металлами // Экология. 2014. № 2. С. 83 – 90. <https://doi.org/10.7868/S0367059714020036>
- Кириллова И. А., Кириллов Д. В. Динамика популяций, репродуктивный успех и сезонное развитие *Cypripedium calceolus* в разных условиях произрастания как ответ на действие погодных факторов // Сибирский экологический журнал. 2021. Т. 28, № 5. С. 590 – 602. <https://doi.org/10.15372/SEJ20210508>
- Кириллова И. А., Кириллов Д. В. Влияние погодных условий на сезонное развитие, структуру популяции и репродуктивный успех *Dactylorhiza incarnata* s. l. (Orchidaceae, Liliopsida) в Республике Коми // Поволжский экологический журнал. 2022. № 2. С. 173 – 192. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-2-173-192>
- Клевцова М. А., Юранова А. В. Влияние городских условий на морфометрические параметры листовых пластинок древесных растений // Современные проблемы интродукции и сохранения биоразнообразия растений: материалы 3-й заочной научно-практической конференции с международным участием, посвященной 80-летию Ботанического сада им. проф. Б. М. Козо-Полянского Воронежского госуниверситета. Воронеж : Роза ветров, 2017. С. 164 – 169.
- Клевцова М. А., Михеев А. А. Оценка влияния стрессовых факторов урбанизированной среды на древесные растения // Проблемы и мониторинг природных экосистем : сборник статей VII Всероссийской научно-практической конференции. Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2020 а. С. 73 – 76.
- Клевцова М. А., Михеев А. А. Экодиагностика урбанизированной среды по морфометрическим показателям листовых пластинок *Betula pendula* Roth // Региональные геосистемы. 2020 б. Т. 44, № 4. С. 432 – 445. <https://doi.org/10.18413/2712-7443-2020-44-4-432-445>

Князев М. С., Третьякова А. С., Подгаевская Е. Н., Золотарёва Н. В., Куликов П. В. Конспект флоры Свердловской области. Часть III: Двудольные растения (Aristolochiaceae – Monotropaceae) // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2018. Т. XII, № 2. С. 4 – 95. <https://doi.org/10.24411/2072-8816-2018-10013>

Кожеевников А. П., Шипицина Н. В., Кондратова Е. Б. Кустарники-интродуценты в озеленительных посадках населенных пунктов Свердловской области // Леса России и хозяйство в них. 2022. № 2. С. 36 – 43. <https://doi.org/10.51318/FRET.2022.27.36.005>

Козлов М. В. Исследование флуктуирующей асимметрии растений в России: мифология и методология // Экология. 2017. № 1. С. 3 – 12. <https://doi.org/10.7868/S0367059717010103>

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. Сер. 3: Биология. 2009. № 3. С. 98 – 110.

Ловеллус Н. В. Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1979. 231 с.

Магомедова Б. М. Изменчивость показателей плодов и однолетних семян редкого вида каркас кавказский // Лесоведение. 2019. № 3. С. 188 – 197. <https://doi.org/10.1134/S0024114819020050>

Мазная Е. А., Лянгузова И. В. Эколого-популяционный мониторинг ягодных кустарничков при азротехногенном загрязнении. СПб. : ВВМ, 2010. 194 с.

Малков Ф. С., Нурминская Ю. В. Байкальский центр изучения морфологии однолетних и многолетних листьев растений // Перспективы развития биомедицинских технологий в Байкальском регионе: сборник тезисов Международной научной конференции. Иркутск : Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2019. С. 54 – 55.

Мамаев С. А. Закономерности внутривидовой изменчивости семейства Pinaceae на Урале : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Свердловск, 1970. 54 с.

Машикина О. С., Кузнецова Н. Ф., Исаков Ю. Н., Буторина А. К. Самофертильность у сосны обыкновенной как один из механизмов ее устойчивости к химическим мутагенам // Экология. 2009. № 6. С. 423 – 428.

Мигалина С. В., Иванова Л. А., Махнев А. К. Размеры листа березы как индикатор ее продуктивности вдали от климатического оптимума // Физиология растений. 2009. Т. 56, № 6. С. 948 – 953.

Нормирование материально-технических ресурсов в газовой промышленности : справочник / под ред. Д. Т. Аксенова. М. : Недра, 1982. 208 с.

Полонский В. И., Полякова И. С. Морфометрические показатели листьев *Syringa josikaea* Jacq. в оценке качества городской среды // Вестник КрасГАУ. 2014. № 8 (95). С. 130 – 133.

Попова О. С., Попов В. П., Харахонова Г. У. Древесные растения лесных, защитных, зеленых насаждений : учеб. пособие. Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2005. 159 с.

Савинов А. Б., Солощенко М. А. Фенотипические изменения в городских ценопопуляциях подорожника большого при разной техногенной нагрузке на их биотопы // Проблемы регионального экологического мониторинга: материалы научно-практической конференции. Н. Новгород : Нижегородский государственный университет, 2002. С. 121 – 122.

Савицкая Л. С. Экологический анализ адаптивных механизмов растений в урбанизированной среде : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2015. 24 с.

Северцов А. С. Направленность эволюции. М. : Изд-во МГУ, 1990. 272 с.

Симинел В. Д., Кильчевская О. С. Особенности биологии цветения, опыления и оплодотворения тритикале. Кишинев : Штиинца, 1984. 152 с.

ГРУППОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТА

Соколова Г. Г., Еремина А. А. Влияние загрязнения воздушной среды на развитие листьев древесных растений в условиях г. Горно-Алтайска // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2014. № 13. С. 208 – 213.

Титов С. В. Территориальность наземных белличьих Среднего Поволжья // Экология животных и проблемы регионального экологического образования. Саранск : Мордовский государственный педагогический университет, 1999. С. 64 – 67.

Турмухаметова Н. В. Особенности морфогенеза побегов и феноритмов *Betula pendula* Roth и *Tilia cordata* Mill. в условиях городской среды : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2005. 19 с.

Убаева Р. Ш., Муцалова С. Ш. Влияние загрязнения воздушного бассейна на морфологическую структуру листа разных видов кленов в условиях г. Грозного // Наука и бизнес: пути развития. 2013. № 11 (29). С. 60 – 65.

Хикматуллина Г. Р. Сравнение морфологических признаков листа *Betula pendula* в условиях урбаноcреды // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о Земле. 2013. Вып. 2. С. 48 – 56.

Чекменева Ю. В. Изучение индивидуальной изменчивости хвойных интродуцентов для мониторинга в городской среде : дис. ... канд. с.-хоз. наук. Воронеж, 2011. 227 с.

Чернодубов А. И. Сосна обыкновенная в островных борах Восточно-Европейской равнины: (история – генетика – экология – география). Воронеж : Воронежская государственная лесотехническая академия, 2009. 156 с.

Числа хромосом цветковых растений флоры СССР. Aceraceae – Menyanthaceae / под ред. А. Л. Тахтаджяна. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. 510 с.

Givnish T. J. Leaf and canopy adaptations in tropical forests // Physiological Ecology of Plants of the Wet Tropics / eds. E. Medina, H. A. Mooney, C. Vázquez-Yanes. Dordrecht : Springer, 1984. P. 51 – 84.

Global Environmental Monitoring System (GEMS). SCOPE Report 3. Toronto : ICSU-SCOPE, 1973. 74 p.

Warren C. R., Dreyer E., Tausz M., Adams M. A. Ecotype adaptation and acclimation of leaf traits to rainfall in 29 species of 16-year-old Eucalyptus at two common gardens // Functional Ecology. 2006. Vol. 20, iss. 6. P. 929 – 940. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2006.01198.x>

**Group variability of the morphological features of the leaf
of *Betula pendula* Roth (Betulaceae, Magnoliópsida)
in the gradient of weather conditions and technogenic soil transformation**

T. V. Zhuikova , E. V. Meling, A. S. Popova

*Nizhny Tagil State Social Pedagogical Institute of Russian State Vocational Pedagogical University
57 Krasnogvardeyskaya St., Nizhny Tagil 622031, Russia*

Received: 8 January 2023 / revised: 28 January 2023 / accepted: 30 January 2023

Abstract. The group variability of morphological features of the leaves of *Betula pendula* Roth was studied in the gradients of adverse weather conditions and technogenic soil transformation. The studies were carried out on the territory of the Tagil zone of the Middle Urals in 2016–2019. It has been revealed that most of the studied leaf traits have an average level of variation, while a high one is characteristic of the shape index, and a low one is characteristic of the leaf blade index and the angles between the main and lateral vein of the first order, located in the middle and upper parts of the leaf. In the gradient of deterioration of weather conditions, the variability of the features increases, whilst it decreases in the gradient of technogenic soil transformation. The morphological features making the greatest contribution to the variability of the size and shape of the leaf were identified by the method of principal component analysis. Leaf variability is mainly determined by dimensional features. Allometric features are more stable. To assess the resistance of an organism to adverse factors, it is proposed to use the stability coefficient, which reflects the number of trait transitions from one level of variability to another one. This indicator increases both in the gradient of technogenic soil transformation and in the gradient of unfavorable weather.

Keywords: *Betula pendula*, group variability, leaf morphological features, weather conditions, technogenic soil transformation

For citation: Zhuikova T. V., Meling E. V., Popova A. S. Group variability of the morphological features of the leaf of *Betula pendula* Roth (Betulaceae, Magnoliópsida) in the gradient of weather conditions and technogenic soil transformation. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 1, pp. 37–57 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-37-57>

REFERENCES

- Abaimov V. F. *Dendrologiia: uchebnoe posobie dlia studentov vysshikh uchebnykh zavedenii* [Dendrology: A Textbook for Students of Higher Educational Institutions]. Moscow, Akademia Publ., 2009. 368 p. (in Russian).
- Abdullaeva S. D., Asadulaev Z. M., Aliev Kh. U. Variability of quantitative traits of the *Rubus idaeus* L. leaf. In: *Trudy Dagestanskogo otdeleniia Russkogo botanicheskogo obshchestva* [Proceedings of the Dagestan branch of the Russian Botanical Society]. Makhachkala, Aleph Publ., 2008, pp. 34–37 (in Russian).
- Avrov F. D. Ecology and selection of larch. *Problemy regional'noi ekologii* [Problems of Regional Ecology]. Tomsk, Spectr Publ., 1996, iss. 7. 213 p (in Russian).

 *Corresponding author.* Department of Natural Sciences and Physical and Mathematical Education, Nizhny Tagil State Social Pedagogical Institute of Russian State Vocational Pedagogical University, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Tatyana V. Zhuikova: <https://orcid.org/0000-0001-8658-7372>, hbfnt@rambler.ru; Eleonora V. Meling: meling-e@mail.ru; Anastasia S. Popova: stassy.popova@yandex.ru.

Banaev E. V. *Fluffy Alder (Alnus hirsuta (Spach) Turcz. ex Rupr.) in Siberia and the Far East of Russia*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Biol.). Novosibirsk, 1996. 19 p. (in Russian).

Bezel' V. S., Zhuikova T. V., Pozolotina V. N. The structure of dandelion cenopopulations and specific features of heavy metal accumulation. *Russian Journal of Ecology*, 1998, vol. 29, no. 5, pp. 331–337.

Bezel' V. S., Pozolotina V. N., Bel'skii E. A. and Zhuikova T. V. Variation in population parameters: Adaptation to toxic environmental factors. *Russian Journal of Ecology*, 2001, vol. 32, no. 6, pp. 413–419. <https://doi.org/10.1023/A:1012534201258>

Bulygin N. E. *Dendrologiia* [Dendrology]. Leningrad, Agropromizdat Publ., 1991. 352 p. (in Russian).

Gorchakovskiy P. L., Shurova E. A., Knyazev M. S., Marina L. V., Morozova L. M., Nikonova N. N., Pryamonosova S. A., Salmina N. P., Shlykova N. A., Belyaeva I. V., Balandin S. V., Vasilova E. S., Famelis T. V., Trotsenko G. V., Zueva V. N., Meling E. A. *Opredelitel' sosudistykh rastenii Srednego Urala* [Determinant of Vascular Plants of the Middle Urals]. Moscow, Nauka Publ., 1994. 525 p. (in Russian).

Dekorativnye i lekarstvennye rasteniia (otkrytyi grunt): katalog Botanicheskogo sada Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhoziaistvennoi akademii [Ornamental and Medicinal Plants (Open Ground): Catalogue of the Botanical Garden of the Belarusian State Agricultural Academy]. Gorky, Belarusian State Agricultural Academy Publ., 2013. 308 p. (in Russian).

Drozhdzhina V. N. Change of morphometric indicators in vegetative organs of *Tilia cordata* Roth. in the conditions of urban environment. *Industrial Botany*, 2019, vol. 19, no. 3, pp. 55–58 (in Russian).

Zhuikova T. V., Meling E. V., Kaigorodova S. Yu., Bezel' V. S., Gordeeva V. A. Specific features of soils and herbaceous plant communities in industrially polluted areas of the Middle Urals. *Russian Journal of Ecology*, 2015, vol. 46, no. 3, pp. 213–221. <https://doi.org/10.1134/S1067413615030133>

Zhuikova T. V., Popova A. S., Meling E. V. Comparative evaluation of the fluctuating asymmetry of the leaf blade of *Betula pendula* Roth with different methods of plant material fixation. *Samara Journal of Science*, 2020, vol. 9, no. 4, pp. 58–65 (in Russian). <https://doi.org/10.17816/snv202094109>

Zhuikova T. V., Meling E. V., Popova A. S. On the methodology for assessing the integral indicator of the degree of favorable weather conditions for plants. *Samara Journal of Science*, 2022, vol. 11, no. 2, pp. 45–51 (in Russian). <https://doi.org/10.55355/snv2022112106>

Ziyatdinova K. Z., Urazgildin R. V., Denisova A. V. Qak (*Quercus robur* L.) Leaves and shoots morphology in the environmental pollution conditions (on the Ufa industrial centre example). *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2012, vol. 14, no. 1–6, pp. 1466–1469 (in Russian).

Ivshina I. B., Kostina L. V., Kamenskikh T. N., Zhuikova V. A., Zhuikova T. V., Bezel' V. S. Soil microbiocenosis as an indicator of stability of meadow communities in the environment polluted with heavy metals. *Russian Journal of Ecology*, 2014, vol. 45, no. 2, pp. 83–89. <https://doi.org/10.1134/S1067413614020039>

Kirillova I. A., Kirillov D. V. Population dynamics, reproductive success, and seasonal development of *Cypripedium calceolus* under different growing conditions as a response to weather factors. *Contemporary Problems of Ecology*, 2021, vol. 14, no. 5, pp. 472–482. <https://doi.org/10.1134/S1995425521050061>

Kirillova I. A., Kirillov D. V. Impact of weather conditions on the seasonal development, population structure and reproductive success of *Dactylorhiza incarnata* s. l. (Orchidaceae, Liliopsida) in the Komi Republic. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2022, no. 2, pp. 173–192 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-2-173-192>

Klevtsova M. A., Yuranova A. V. The influence of urban conditions on morphometric parameters of sheet plates of trees. In: *Sovremennye problemy introduksii i sokhraneniia bioraznoobraziia rastenii: materialy 3-y zaochnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarod-*

nym uchastiem, posviashchennoi 80-letiiu Botanicheskogo sada im. prof. B. M. Kozo-Polianskogo Voronezhskogo gosuniversiteta [Modern Problems of the Introduction and Conservation of Plant Biodiversity: Materials of the 3rd Correspondence Scientific and Practical Conference with International Participation, Dedicated to 80th Anniversary of the B. M. Kozo-Polyansky Botanical Garden of Voronezh State University]. Voronezh, Roza vetrov Publ., 2017, pp. 164–169 (in Russian).

Klevtsova M. A., Mikheev A. A. Assessment of the impact of stress factors of urbanized environment on woody plants. In: *Problemy i monitoring prirodnnykh ekosistem: sbornik statei VII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Problems and Monitoring of Natural Ecosystems: Collection of Articles of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference]. Penza, Penza State Agrarian University Publ., 2020 a, pp. 73–76 (in Russian).

Klevtsova M. A., Mikheev A. A. The ecodiagnosics of the urbanized environment by morphometric indicators of the leaves *Betula pendula* Roth. *Regional Geosystems*, 2020 b, vol. 44, no. 4, pp. 432–445 (in Russian). <https://doi.org/10.18413/2712-7443-2020-44-4-432-445>

Knyazev M. S., Tretyakova A. S., Podgaevskaya E. N., Zolotareva N. V., Kulikov P. V. Annotated checklist of the flora of Sverdlovsk region. Part III: Dicotyledonous plants (Aristolochiaceae – Monotropaceae). *Phytodiversity of Eastern Europe*, 2018, vol. XII, no. 2, pp. 4–95 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2072-8816-2018-10013>

Kozhevnikov A. P., Shipitsina N. V., Kondratova E. B. Shrubs-the introduced species in landscape plantings of the settlements of the Sverdlovsk region. *Forests of Russia and the Economy in Them*, 2022, no. 2, pp. 36–43 (in Russian). <https://doi.org/10.51318/FRET.2022.27.36.005>

Kozlov M. V. Plant studies on fluctuating asymmetry in Russia: Mythology and methodology. *Russian Journal of Ecology*, 2017, vol. 48, no. 1, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1134/S1067413617010106>

Laius D. L., Graham D. Kh., Katolikova M. V., Yurtseva A. O. Fluctuating asymmetry and random phenotypic variability in population studies: History, achievements, problems, prospects. *Vestnik of Saint Petersburg University. Ser. 3. Biology*, 2009, no. 3, pp. 98–110 (in Russian).

Lovelius N. V. *Izmenchivost' prirosta derev'ev. Dendroindikatsiia prirodnnykh protsessov i antropogennykh vozeistvii* [Variability of Tree Growth. Dendroindication of Natural Processes and Anthropogenic Impacts]. Leningrad, Nauka Publ., 1979. 231 p. (in Russian).

Magomedova B. M. Variability of traits of fruits and one-year old seedlings of the rare species *Celtis caucasica* (Ulmaceae). *Russian Journal of Forest Science*, 2019, no. 3, pp. 188–197 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S0024114819020050>

Maznaya E. A., Lyanguzova I. V. *Ekologo-populiatsionnyi monitoring iagodnykh kustarnichkov pri aerotekhnogennom zagriaznenii* [Ecological and Population Monitoring of Berry Shrubs under Aerotechnogenic Pollution]. Saint Petersburg, BBM Publ., 2010. 194 p. (in Russian).

Malkov F. S., Nurminskaya Yu. V. Baikal Center for the Study of the Morphology of Annual and long-term annual leaves. In: *Perspektivy razvitiia biomeditsinskikh tekhnologii v Baikal'skom regione: sbornik tezisov Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* [Prospects for the Development of Biomedical Technologies in the Baikal Region: Collection of Abstracts of the International Scientific Conference]. Irkutsk, Izdatel'stvo Instituta geografii im. V. B. Sochavy SO RAN, 2019, pp. 54–55 (in Russian).

Mamaev S. A. *The Laws of Intraspecific Variability of the Pinaceae Family in the Urals*. Thesis Diss. Dr. Sci. (Biol.). Sverdlovsk, 1970. 54 p. (in Russian).

Mashkina O. S., Kuznetsova N. F., Isakov Yu. N., Butorina A. K. Self-fertility in Scots pine as a mechanism of resistance to chemical mutagens. *Russian Journal of Ecology*, 2009, vol. 40, no. 6, pp. 399–404.

Migalina S. V., Ivanova L. A., Makhnev A. K. Size of the leaf as a marker of birch productivity at a distance from the climatic optimum. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2009, vol. 56, no. 6, pp. 858–862.

Normirovanie material'no-tekhnicheskikh resursov v gazovoi promyshlennosti: Spravochnik. Pod red. D. T. Aksenova [Aksenov D. T., ed. Rationing of Material and Technical Resources in the Gas Industry: Handbook]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 208 p. (in Russian).

Polonskiy V. I., Polyakova I. S. Morphometric parameters of *Syringa josikaea* Jacq. leaves in the urban environment quality assessment. *Bulletin of KrasSAU*, 2014, no. 8 (95), pp. 130–133 (in Russian).

Popova O. S., Popov V. P., Kharakhonova G. U. *Drevesnye rasteniia lesnykh, zashchitnykh, zelenykh nasazhdenii: uchebnoe posobie* [Woody Plants of Forest, Protective, Green Plantings: Textbook]. Krasnoyarsk, Krasnoyarsk State Agrarian University Publ., 2005. 159 p. (in Russian).

Savinov A. B., Soloshenko M. A. Phenotypic changes in urban cenopopulations of plantain under different technogenic pressure on their biotopes. In: *Problemy regional'nogo ekologicheskogo monitoringa: materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Problems of Regional Ecological Monitoring: Materials of a Scientific-Practical Conference]. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State University Publ., 2002, pp. 121–122 (in Russian).

Savintseva L. S. *Ecological Analysis of Adaptive Mechanisms of Plants in an Urbanized Environment*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Biol.). Petrozavodsk, 2015. 24 p. (in Russian).

Severtsov A. S. *Napravlennost' evoliutsii* [Direction of Evolution]. Moscow, Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1990. 272 p. (in Russian).

Siminel V. D., Kilchevskaya O. S. *Osobennosti biologii tsvetenii, opylenii i oplodotvorennii tritikale* [Biology of Flowering, Pollination and Fertilization of Triticale]. Kishinev, Shtiintsa Publ., 1984. 152 p. (in Russian).

Sokolova G. G., Eremina A. A. The influence of air pollution on the development of woody plant leaves under conditions of Gorno-Altaysk city. *Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia*, 2014, no. 13, pp. 208–213 (in Russian).

Titov S. V. Territoriality of terrestrial squirrels of the Middle Volga. In: *Ekologiya zhivotnykh i problemy regional'nogo ekologicheskogo obrazovaniia* [Ecology of Animals and Problems of Regional Ecological Education]. Saransk, Mordovian State Pedagogical University Publ., 1999, pp. 64–67 (in Russian).

Turmukhametova N. V. *Features of Shoot Morphogenesis and Phenorhythms of Betula pendula Roth and Tilia cordata Mill. in the Conditions of the Urban Environment*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Biol.). Novosibirsk, 2005. 19 p. (in Russian).

Ubaeva R. Sh., Mutsalova S. Sh. The effect of air pollution on morphological structures of maple leaves of different species in Grozny. *Science and Business: Ways of Development*, 2013, no. 11 (29), pp. 60–65 (in Russian).

Khikmatullina G. R. Comparison of the morphological features of the *Betula pendula* leaf in urban environments. *Bulletin of Udmurt University. Biology. Earth Sciences*, 2013, iss. 2, pp. 48–56 (in Russian).

Chekmeneva Yu. V. *The Study of Individual Variability of Coniferous Introduced Species for Monitoring in an Urban Environment*. Diss. Cand. Sci. (Agric.). Voronezh, 2011. 227 p. (in Russian).

Chernodubov A. I. *Sosna obyknovennaia v ostrovnykh borakh Vostochno-Evropeiskoi ravniny: (istoriia – genetika – ekologiya – geografiia)* [Scotch Pine in the Island Forests of the East European Plain: (History–Genetics–Ecology–Geography)]. Voronezh, Voronezh State Forestry Academy Publ., 2009. 156 p. (in Russian).

Takhtajan A. L., ed. *Chromosome Numbers in Flowering Plants of the Flora of the USSR: Aceraceae – Menyanthaceae*. Leningrad, Nauka Publ., 1990. 510 p. (in Russian).

Givnish T. J. Leaf and canopy adaptations in tropical forests. In: Medina E., Mooney H. A., Vázquez-Yanes C., eds. *Physiological Ecology of Plants of the Wet Tropics*. Dordrecht, Springer, 1984, pp. 51–84.

Global Environmental Monitoring System (GEMS). SCOPE Report 3. Toronto, ICSU-SCOPE, 1973. 74 p.

Warren C. R., Dreyer E., Tausz M., Adams M. A. Ecotype adaptation and acclimation of leaf traits to rainfall in 29 species of 16-year-old Eucalyptus at two common gardens. *Functional Ecology*, 2006, vol. 20, iss. 6, pp. 929–940. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2006.01198.x>