

УДК 574.2(470.65)

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ЗВЕНА АДАПТИВНОЙ РЕАКЦИИ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA*) НА ТЕХНОГЕННО ИЗМЕНЕННУЮ СРЕДУ ОБИТАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ВЛАДИКАВКАЗА, РСО-АЛАНИЯ)**

**Саркисянц Л.О.**

*Владикавказский техникум железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ВлГЖТ – филиал РГУПС), Владикавказ, e-mail: laura.sarkisyants@mail.ru*

В работе исследованы адаптивные реакции ассимиляционного аппарата березы повислой (*Betula pendula*) на стрессирующее воздействие экопеллютантов урбосреды г. Владикавказа Республики Северная Осетия – Алания. В качестве объекта изучения выбраны древесные растения из шести экотопов, характеризующихся различным спектром техногенного воздействия на экосистемы. Индикация состояния растений осуществлена на основе анализа морфометрических и индексных показателей, определяющих такие характеристики листьев, как форма, площадь, удлиненность, положение самого широкого места. Отмечена статистически достоверная зависимость метрических показателей вегетативного органа от фактора «место сбора». Выявленные виды реакций популяций березы повислой носят противоположный характер: наряду с ксерофитизацией отмечена тенденция увеличения размерных характеристик листьев в зависимости от условий произрастания растений. При этом зависимость геометрических показателей ассимиляционного аппарата от характеристик экотопов менее выражена, листья *Betula pendula* из всех исследованных районов города имеют широкояйцевидную и яйцевидную форму. Результаты проведенного исследования обосновывают целесообразность включения в программу экомониторинговых испытаний комплекса размерных и индексных показателей органов древесных растений с целью оценки комфортности среды обитания на основе скрининга загрязнения воздушного бассейна города опасными для здоровья живых систем экотоксикантами.

**Ключевые слова:** фитондикация, модификационная изменчивость, урбосреда города, индекс листовой пластинки, индекс формы листа, геометрия ассимиляционного аппарата, адаптивный ответ растений, ксерофитизация

**MORPHOLOGICAL STUDY OF LINK ADAPTATION RESPONSES SILVER BIRCH *BETULA PENDULA* IN ANTHROPOGENIC ALTERED HABITAT (FOR EXAMPLE, THE CITY OF VLADIKAVKAZ, NORTH OSSETIA-ALANIA)**

**Sarkisyants L.O.**

*Vladikavkaz railway College – branch Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Rostov State Transport University» (Wltit – branch of RSTU), Vladikavkaz, e-mail: laura.sarkisyants@mail.ru*

The study examined the adaptive response of the assimilation apparatus of silver birch *Betula pendula* on strassenwesen the impact of ecopollutants arboreta the city of Vladikavkaz of Republic North Ossetia-Alania. As the object of study of selected woody plants of the six ecotypes were characterized by a different spectrum of anthropogenic impact on ecosystems. The indication of the state of plants is carried out on the basis of the analysis of morphometric and index indicators defining such characteristics of leaves as the form, the area, elongation, position of the widest place. The statistically significant dependence of the metric parameters of the vegetative organ on the «place of collection» factor was noted. The revealed types of reactions of birch populations have the opposite character: along with xerophytization the tendency of increasing the size characteristics of leaves depending on the conditions of plant growth is noted. At the same time, the dependence of the geometric parameters of the assimilation apparatus on the characteristics of ecotopes is less pronounced, the leaves of *Betula pendula* from all the studied areas of the city have a wide-ovoid and ovoid shape. The results of the study justify the feasibility of inclusion in the program of ecomonitoring tests of the complex size and index parameters of the organs of woody plants in order to assess the comfort of the environment on the basis of screening of pollution of the air basin of the city dangerous to the health of living systems ecotoxicants.

**Keywords:** phytoindication, modification variability, arboreta city, the index of the leaf blade, the shape index of the sheet, the geometry of the assimilation apparatus, the adaptive response of plants, xerophytization

Несмотря на то, что вопросы адаптации растительных организмов к условиям техногенно измененной среды обитания широко изучены, они не утрачивают актуальности по причине усиливающегося стрессирующего антропогенного влияния на экосистемы. Связанное с этим процессом вовлечение в геохимические циклы поллютантов

с неизвестными механизмами токсичности повышает роль модификационной изменчивости в онтогенетических программах всех компонентов биогеоценозов и, прежде всего, растений, выполняющих средопреобразующие функции. В данной связи изучение адаптивных стратегий растительных организмов в условиях техногенных экото-

пов важно как с точки зрения корректной санитарно-гигиенической регламентации содержания загрязняющих веществ в различных средах, так и для оценки комфортности среды обитания для роста и развития организмов, а также в вопросах эволюции популяций и популяционной генетики.

Урбосреда города Владикавказ – столицы Республики Северная Осетия – Алания – характеризуется ингредиентным типом загрязнения, главными источниками которого являются развитая сеть автомобильного транспорта и промышленные предприятия цветной металлургии, химической и нефтехимической промышленности, машиностроительные и металлообрабатывающие предприятия. В воздушном бассейне города, как показали результаты исследований, преобладают эксгалаты: диоксид серы, оксид углерода, оксиды азота, метан, пыль неорганическая, серная кислота [1].

Целью настоящего исследования является изучение модификационной изменчивости листовой пластинки березы повислой *Betula pendula* в условиях г. Владикавказ, РСО-А.

Для достижения цели выдвигаются следующие задачи:

- оценка размерных характеристик ассимиляционного аппарата березы повислой из экотопов с различной степенью антропогенной трансформационной нагрузки на территории города Владикавказ;
- исследование индексных показателей, описывающих форму листа березы повислой;
- выявление морфологических адаптационных стратегий березы повислой в условиях урбосреды города Владикавказ.

### Материалы и методы исследования

Сбор листьев *Betula pendula* проводился во второй декаде июля 2016 г. согласно рекомендациям [2].

Метрические параметры листовых пластин (длина и ширина листа) измерялись на свежесобранном материале с использованием штангенциркуля в трехкратном повторении. Для оценки размерности листа березы повислой в дальнейшем рассчитывался коэффициент величины (длина  $\times$  ширина).

Для описания формы листьев березы повислой применялись 2 индексных показателя:

1. Индекс листовой пластинки (ИЛП), являющийся мерой ее удлиненности, рассчитываемый как отношение длины листа к его ширине.

2. Индекс формы (ИФ), отражающий положение самого широкого места листа.

Места сбора материала охватывают территорию трех муниципальных округов города Владикавказ: Промышленного (П), Иристонского (И), Северо-Западного (СЗ) и с учетом характера преобладающих стрессующих факторов среды могут быть определены следующим образом:

1. П1 – селитебная зона Промышленного муниципального округа, основной фактор загрязнения – предприятия цветной металлургии ОАО «Электроцинк» и ОАО «Победит», а также АО «Вагоноремонтный завод им. С.М. Кирова», участки ОАО «РЖД».

2. ПА1, ПА2, ПА3 – экотопы на территории Промышленного муниципального округа, характеризующиеся разным уровнем автомобильной нагрузки (АН): 1200–1300 авт/час (ПА1, ПА2), 1800–1900 авт/час (ПА3). Факторы загрязнения – промышленные предприятия и автотранспорт.

3. ИА1 – популяция березы повислой на территории Иристонского муниципального округа с АН 1100–1200 авт/час. Основной фактор загрязнения – автомобильный транспорт.

4. ИК – деревья березы повислой на территории пансионата «Сосновая роща» (Иристонский муниципальный округ), условный контроль.

5. СЗД – территория жилой постройки с уровнем АН, не превышающим 30 авт/час, Северо-Западный муниципальный округ.

6. СЗК – деревья березы повислой на территории детского сада (Северо-Западный муниципальный округ), условный контроль.

Статистическая обработка результатов исследований осуществлялась с использованием пакетов программ Statistica 8.0 и Microsoft Excel 2007 с привлечением методов однофакторного дисперсионного анализа с апостериорным критерием множественного сравнения достоверно значимой разности Тьюки. Для определения степени изменчивости изучаемых параметров использовался коэффициент вариации ( $C_v$ , %).

### Результаты исследования и их обсуждение

Влияние показателя «место сбора» на метрические характеристики листа березы повислой исследовано с использованием однофакторного дисперсионного анализа (таблица).

Результаты дисперсионного анализа влияния места сбора на морфометрические и геометрические показатели листовой пластинки березы повислой в условиях города Владикавказ

№ п/п	Показатель	F-критерий	$\eta^2$ , %
1	Длина листа, см	8,61***	26,5
2	Ширина листа, см	11,81***	33,1
3	Коэффициент величины	11,20***	31,9
4	ИЛП	8,72***	26,7
5	ИФ	10,56***	30,7

Примечание. \*\*\* –  $P < 0,001$ .

Как видно из таблицы, на высоком уровне статистической достоверности ( $P < 0,001$ ) признаки, характеризующие размеры и форму ассимиляционного аппарата *Betula pendula*, определяются местом обитания растительного организма, что в ло-

гике эксперимента означает зависимость от экологических условий произрастания. При этом доля влияния независимой переменной – место сбора, на изменчивость метрических параметров варьирует от 26,5% в случае длины листовой пластинки березы повислой до 33,1% – в случае ее ширины. Вместе с тем рис. 1 иллюстрирует низкий и средний уровень относительной изменчивости данных показателей согласно шкале С.А. Мамаева в пределах выбранных экотопов, что повышает их информативность в качестве индикаторных. Среди исследованных параметров лишь коэффициент величины, характеризующий грубо измеренную площадь листа березы, отличается высоким уровнем варибельности со значениями  $C_v$  в пределах от 20 до 43%.

Влияние факторов среды на формирование размерных характеристик ассимиляционного аппарата березы проявляется в преобладании тенденции к ксероморфности, выражающейся в уменьшении значений коэффициента величины у популяций из мест сбора ПА 2, ПА 3, ИА 1, СЗД по сравнению с контрольными растениями (рис. 2). Так, уменьшение размерности листа березы составило по данному показателю 28,69% относительно контроля на территории Иристонского муниципального округа ( $P = 0,032$ ), 14,18% – на территории Северо-Западного МО. Очевидно сокращение ассимиляционной поверхности листа на экотопах, характеризующихся загрязнением воздушного бассейна выбросами автотранспорта (ПА 2, ПА 3, ИА 1).

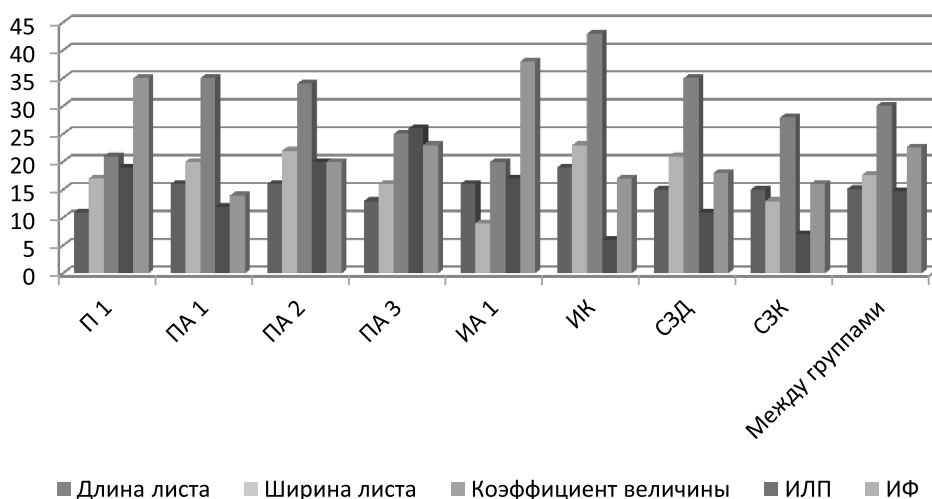


Рис. 1. Результаты определения коэффициента вариации ( $C_v$ , %) изученных параметров листа березы повислой разных экотопов

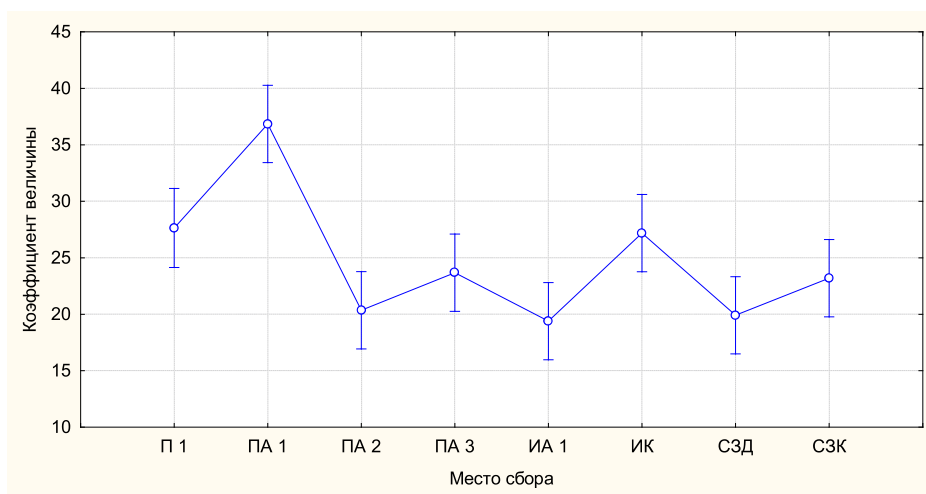


Рис. 2 Результаты определения коэффициента величины ассимиляционного аппарата березы повислой из разных мест сбора

Адаптивная реакция растений данных урботерриторий выражается также в уменьшении значений отдельных размерных характеристик ассимиляционного органа: длины и ширины (рис. 3). Так, длина листовой пластинки березы повислой местообитаний с разным уровнем АН на 1,70–6,27%, а ширина – на 8,60–21,05% ( $P < 0,005$ ) меньше, чем у растений контрольных популяций места сбора ИК.

Более выраженное уменьшение ширины листа деревьев по сравнению с длиной находит отражение в увеличении значений индексного показателя ИЛП (рис. 4). Как видно на рис. 4, удлинненность ассимиляционного аппарата деревьев, произрастающих на территориях разных муниципальных округов города, в местах сбора ПА 2 и ИА 1, статистически достоверно превышает удлиненность листьев деревьев контрольного экотопа ИК на 19,23% ( $P < 0,001$ ) и 15,52% ( $P < 0,005$ ) соответственно.

Необходимо отметить, что ксероморфность известна, как «классическая» преадаптивная реакция древесных растений на действие различных экотоксикантов, в частности токсичных газов [3]. Уменьшение размеров наиболее пластичного органа растения в техногенно измененной среде обитания большинство авторов связывает с подавлением клеточных ростовых процессов, прежде всего в периферической части листа [4–6].

Вместе с тем необходимо отметить наличие как минимум двух видов адаптивного ответа на действие средовых факторов популяций березы повислой на территории города Владикавказа. Наряду с преобладающей в большинстве выбранных экотопов минимизацией размеров листа у растений на территории Промышленного муниципального округа, мест сбора П 1 и ПА 1, отмечена противоположная тенденция – длина, ширина и коэффициент величины превышают соответствующие параметры контрольных растений. Наиболее выражена данная тенденция на территории ПА 1, характеризующейся сочетанным вкладом в загрязнение воздушного бассейна промышленных предприятий и автотранспорта. Увеличение размеров листовой пластинки березы повислой данного местообитания составляет относительно контрольных ИК/СЗК в ряду параметров длина – ширина – коэффициент величины соответственно: 14,10%/13,40%–15,28%/26,57%–27,26%/36,38%. Отмеченную тенденцию закономерно дополняет уменьшение ИЛП по сравнению с контролем на территории Северо-Западного МО на 14,12% ( $P = 0,020$ ). Очевидно, увеличение размеров листа

в данном случае объясняется катализирующим влиянием ряда техногенных факторов, в частности низких концентраций тяжелых металлов, на процессы роста и растяжения клеток, что находит подтверждение у ряда авторов [5, 7]. Кроме того, увеличение размеров листа может рассматриваться как компенсаторная реакция на уменьшение количества хлорофилла при деструкции хлоропластов под действием поллютантов [8].

Промежуточным характером защитной реакции березы повислой на действие стрессоров можно считать усиление ксероморфоза на фоне снижения отношения длины к ширине листа, отмеченное у растений жилой постройки на территории Северо-Западного муниципального округа.

Анализ геометрии листа березы повислой разных экотопов на территории города Владикавказа позволяет выявить две преобладающие формы органа – широкояйцевидную и яйцевидную, зависимость от уровня техногенной нагрузки по данному показателю не выявлена. Условно объединив места сбора в 4 группы по преобладающей адаптивной реакции листовой пластинки, получаем следующий ряд средних значений ИФ:

I группа (П 1, ПА 1) 2,2 – II группа (ПА 2, ПА 3, ИА 1) 2,2 – III группа (СЗД) 1,4 – IV группа (контрольная: СЗК, ИК) 1,9.

Таким образом, можно отметить тенденцию к увеличению ИФ ассимиляционного аппарата березы повислой у популяций на техногенно измененных территориях в сравнении с контрольными.

### Выводы

1. Популяции березы повислой *Betula pendula* урботерриторий г. Владикавказа проявляют разные адаптивные реакции к стрессиндуцируемым факторам среды.

2. Наряду с «классическим» защитным механизмом уменьшения морфометрических показателей листовой пластинки растения техногенно измененных мест обитания проявляют тенденцию к компенсаторному увеличению фотосинтезирующей поверхности. Такой тип реакции характерен, в частности, для растений, произрастающих на территории Промышленного муниципального округа г. Владикавказа.

3. Длина и ширина листовой пластинки *Betula pendula*, а также информация о их соотношении, выраженная в индексе ИЛП, могут рассматриваться как информативные морфологические показатели, в том числе в фитоиндикационных исследованиях урбосреды г. Владикавказа.

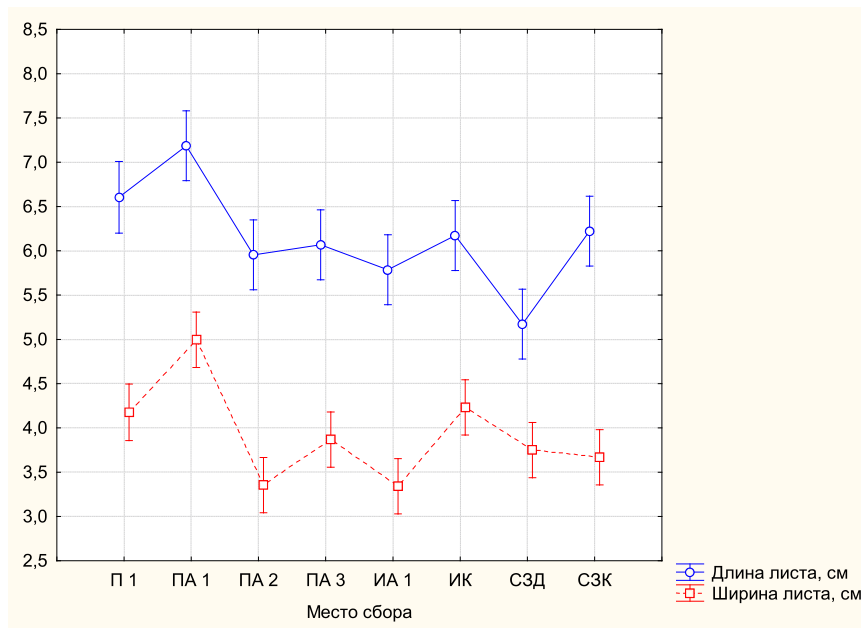


Рис. 3. Результаты определения размерных признаков листа березы повислой разных экотопов на территории г. Владикавказ

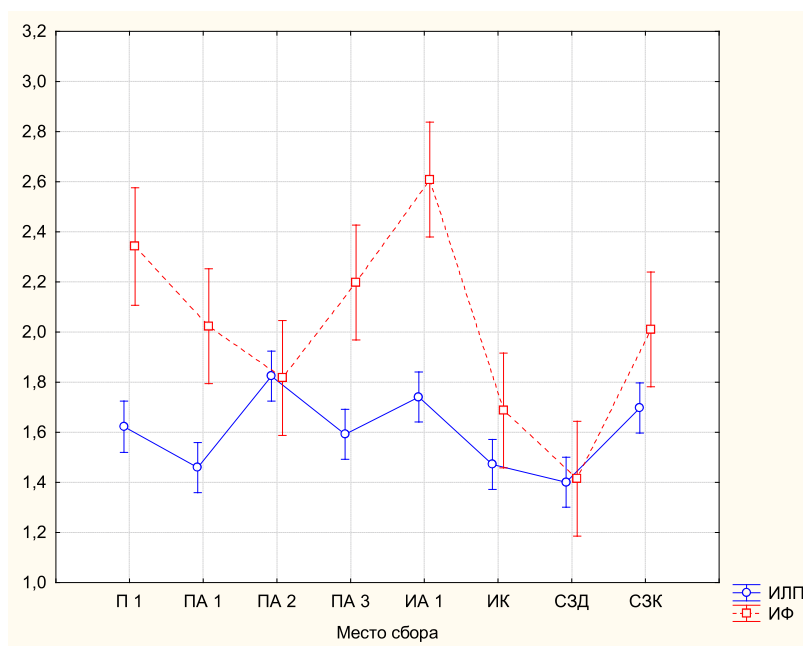


Рис. 4. Результаты определения индексных параметров листа березы повислой разных экотопов на территории г. Владикавказ

4. По показателю формы листа березы повислой существенных различий между исследованными экотопами не выявлено, преобладают широкояйцевидный и яйцевидный лист. Такой показатель геометрии листа, как ИФ, очевидно, проявляет тен-

денцию к увеличению с ростом техногенной нагрузки, однако для решения вопроса о включении его в программу экомониторинговых исследований требуется дальнейшее исследование на большем количестве экспериментального материала.

**Список литературы**

1. Кебалова Л.А. Экологическая оценка состояния атмосферного воздуха города Владикавказа // Географический вестник. Метеорология. 2017. № 3 (42). С. 71–77.
2. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). Распоряжение Росэкологии от 16.10.2003 № 460. М.: Наука, 2003. 24 с.
3. Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974. 124 с.
4. Аминова К.З. Эколого-биологическая характеристика дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях техногенного загрязнения (на примере Уфимского промышленного центра: дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2016. 164 с.
5. Кайгоров Р.В. Устойчивость растений к химическому загрязнению. Пермь: Перм. гос. ун-т, 2010. 151 с.
6. Хузина Г.Р. Влияние урбаноcреды на морфометрические показатели листа березы повислой (*Betula Pendula* Roth // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о Земле. 2010. № 3. С. 53–57.
7. Хигматуллина Г.Р. Сравнительный анализ морфологических параметров листьев древесных растений в условиях урбанизированной среды: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Казань, 2013. 24 с.
8. 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: сборник научных статей по материалам XIII Международной научно-практической конференции (20–23 октября 2014 г., Барнаул). Барнаул: Концепт, 2014. 291 с.