

ОЦЕНКА  
СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ

УДК 574.21:581.5

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ ЙОШКАР-ОЛЫ  
ПО МОРФОМЕТРИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ *Betula pendula* Roth

© 2020 г. Н. В. Турмухаметова®

Марийский государственный университет, пл. Ленина, 1, Йошкар-Ола, 424000 Россия

®E-mail: bonid@mail.ru

Поступила в редакцию 26.08.2019 г.

После доработки 25.10.2019 г.

Принята к публикации 25.10.2019 г.

Приведены результаты многолетних биоиндикационных исследований оценки состояния березы повислой *Betula pendula* Roth в различных по антропогенной нагрузке условиях Йошкар-Олы. Показано увеличение морфометрических показателей побеговой системы и площади листовых пластинок березы повислой в условиях антропогенного пресса. Отмечено, что флуктуирующая асимметрия (ФА) листа *B. pendula* с укороченных побегов не зависит от онтогенетического состояния растения, а у листьев с удлинённых побегов зависит. Установлено, что наиболее информативные морфометрические индикационные параметры состояния среды у особей *B. pendula* – ФА листьев с укороченных побегов и площадь повреждения листовой пластинки.

DOI: 10.31857/S0002332920020095

Проблема загрязнения природной среды, характера и интенсивности ответной реакции биологических объектов на воздействие поллютантов остается актуальной не одно десятилетие. В качестве объектов биомониторинга загрязнений атмосферы наиболее благоприятны растения, поскольку они подвергаются воздействию всего спектра загрязняющих веществ, присутствующих в воздухе. Использование морфометрических показателей чувствительных растительных биоиндикаторов в сочетании с инструментальными методами измерений позволяет получать необходимую информацию об их ответной реакции на воздействие загрязняющих веществ и давать оценку качества среды обитания (Илькун, 1978; Мэннинг, Федер, 1985; Булохов, 1996; Manual..., 1998; Николаевский, 1999; Бухарина и др., 2007; Khondhodjaeva *et al.*, 2018). Зеленые древесные насаждения – важные объекты средообразования городов, наблюдения и контроля, а также индикаторы состояния окружающей среды (Мозолевская, 1998).

Известно, что древесные растения в условиях воздушного загрязнения, как правило, снижают продуктивность, что выражается, в частности, в уменьшении прироста побегов, поэтому данный показатель часто используется для биоиндикации (Wenzel, 1971; Жеребцова, 1976; Илькун, 1978; Athari, Kramer, 1983; Schweingruber *et al.*, 1983; Mandre, Ots, 1995; Николаевский, 1999; Неверова, Колмогорова, 2003; Бухарина и др., 2007;

Lakatos, Mirtchev, 2014). Годичный прирост побегов – определяющий итоговый результат всех физиологических процессов, протекающих в организме древесного растения, комплексный диагностический показатель (Жеребцова, 1976). В ходе индивидуального развития процессы роста у растений протекают с разной скоростью: более интенсивный рост характерен для молодых растений, замедленный – для старых (Заугольнова и др., 1988; Чистякова, 1989).

Листья древесных растений – наиболее активная в метаболическом отношении структура. Ассимиляционные органы растения первыми и в наибольшей степени повреждаются токсическими веществами, содержащимися в воздухе, подвергаются атакам насекомых и патогенных микроорганизмов. Экологическая пластичность и восприимчивость листового аппарата к загрязнению воздушного бассейна предоставляют разнообразные возможности для исследований в области фитомониторинга (Илькун, 1978; Захаров и др., 2000; Кавеленова, Леонтьева, 2003). В подобных работах часто используются морфометрические признаки структуры листа (Захаров и др., 2000; Кавеленова, Леонтьева, 2003; Бухарина и др., 2007; Хузина, 2010; Клевцова, 2014; Беланова и др., 2016), анатомические показатели состояния ассимиляционного аппарата (Неверова, 2009; Рамазанова и др., 2011), физиологические показатели (Бухарина и др., 2007; Василенко, Гончарова, 2017).

С точки зрения проблем индикации различных антропогенных воздействий в городах актуален выбор эффективных биообъектов для постоянного всестороннего контроля, а также признаков-маркеров для оценки состояния окружающей природной среды.

Цель исследования – оценка состояния среды на территории Йошкар-Олы по биоиндикационным морфометрическим показателям побеговой системы и листовой пластинки березы повислой *Betula pendula* Roth.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в черте Йошкар-Олы – столицы Республики Марий Эл (РМЭ) в 1999–2017 гг. По сравнению с другими городами Йошкар-Ола характеризуется незначительным загрязнением воздушного бассейна. Доля выбросов автотранспорта составляет 70–85%, промышленных предприятий – 15–30% (Государственный..., 1999, 2017).

В Йошкар-Оле участки исследования были выбраны в градиенте загрязнения среды промышленно-транспортными выбросами. Участок 1 – особо охраняемая природная территория (ООПТ) лесопарк “Сосновая роща” – входит в зону наименьшего загрязнения. Участок 2 – микрорайон “Дубки” – относится к зоне слабого загрязнения. Основные загрязнители воздуха на данной территории – ОАО “Стройкерамика” и автотранспорт. В выбросах предприятия присутствуют пыль, диоксид азота и сажа. Выбросы автотранспорта в этой точке незначительны (Государственный..., 1999, 2017). Участок 3 – Парк культуры и отдыха им. 30-летия ВЛКСМ – относится к зоне умеренного загрязнения. Парк со всех сторон окружен автодорогами. Участок 4 – окрестности фармацевтического завода “Марбиофарм” – также принадлежит к зоне умеренного загрязнения. Завод – одно из предприятий, вносящих наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха города. В процессе работы предприятия выбрасываются такие вещества, как хлористый водород, ацетон, диоксид серы, диоксид азота (Государственный..., 1999, 2017). В 2016 г. исследование проводили также в условиях естественных лесных массивов двух районов РМЭ.

Материал собирали с деревьев *B. pendula* трех онтогенетических состояний генеративного периода: молодого ( $g_1$ ), средневозрастного ( $g_2$ ) и старого ( $g_3$ ) (Чистякова, 1989). Для изучения побеговой системы из нижнего яруса кроны 10 модельных деревьев *B. pendula* разных онтогенетических состояний с южной или юго-западной его сторон брали по 10 ветвей. Главную ось рассматривали как ось  $(n + 1)$ -го порядка, ее боковые ветви – как оси  $(n + 2)$ -го порядка, идущие затем –

как оси  $(n + 3)$ -го порядка и т.д. Каждая ветвь была охарактеризована следующими признаками: длиной годичного удлиненного побега  $(n + 3)$ -го порядка, числом метамеров, числом укороченных побегов  $(n + 4)$ -го порядка, числом листьев на приросте текущего года, числом удлиненных побегов  $(n + 4)$ -го порядка. За 1999–2002 гг. были исследованы 4800 годичных побегов *B. pendula*.

Изучение флуктуирующей асимметрии (ФА) листовой пластинки деревьев проводили по стандартной методике (Захаров и др., 2000). Однако на первоначальном этапе работы в 2000, 2001 гг. анализировали листья не только с укороченных, но и с удлиненных побегов *B. pendula*. Листья собирали после остановки их роста (начиная с июля); брали по 10 листьев с укороченных побегов прошлого года и с удлиненных побегов текущего года (изучали третий лист) с 10 деревьев *B. pendula* разных онтогенетических состояний. Выбор третьего листа был обусловлен незначительной модификационной изменчивостью первых трех листьев однолетнего удлиненного побега (Джумабаева, 1978). На гербаризированных листьях изучали по пять признаков с левой и правой половинок листа. Всего было измерено 5400 листьев.

ФА определенного признака листа вычисляли как модуль разности значений признака слева и справа, отнесенный к сумме этих значений. Далее ФА листа оценивали с помощью интегрального показателя стабильности развития – относительного различия между сторонами листа, осредненного по совокупности признаков, ФА всех листьев дерева – как среднее арифметическое значений асимметрии всех измеренных листьев с этого дерева. Степень нарушения стабильности развития дерева определяли с использованием пятибалльной шкалы (Захаров и др., 2000).

На отдельно собранных листьях оценивали площадь листовых пластинок с использованием переводного коэффициента для *B. pendula* (Федорова, Никольская, 2003). У каждого листа определяли длину, ширину листовой пластинки, площадь листовой пластинки как произведение двух вышеуказанных показателей и переводного коэффициента 0.64. С помощью миллиметровой бумаги определяли площадь поврежденных листовых пластинок. Было измерено 300 листьев.

Статистическая обработка данных проводилась в программе Statistica 10 с использованием двух- и трехфакторного дисперсионного анализа, Шеффе-теста, коэффициента корреляции Спирмена (Sokal, Rohlf, 1995).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ветви *B. pendula* – симподиальная система, слагающаяся из удлиненных годичных побегов.

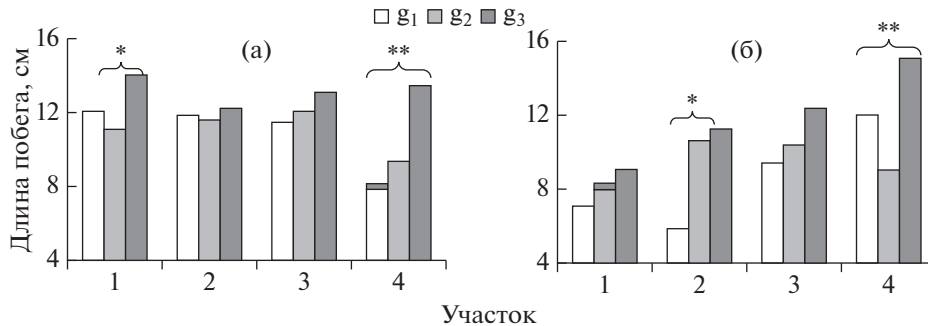


Рис. 1. Средняя длина побега ( $n + 3$ )-го порядка особей *Betula pendula* разных онтогенетических групп в 1999 г. (а) и 2002 г. (б). \* –  $p < 0.05$ , \*\* –  $p < 0.01$ .

Изучали малолетнюю разветвленную систему побегов ( $n + 3$ )-го порядка *B. pendula*. В вегетативных почках удлинённого побега ( $n + 3$ )-го порядка закладываются удлинённые побеги следующего ( $n + 4$ )-го порядка, в смешанных почках – укороченные побеги, несущие, как правило, по два листа и женское соцветие. Укороченные побеги нарастают моноподиально несколько лет, некоторые из них могут стать удлинёнными (Серебряков, 1952). Мы попытались выяснить, насколько изменчива побеговая система разновозрастных особей березы повислой генеративного периода в условиях разной степени антропогенной нагрузки.

Двухфакторный дисперсионный анализ выявил различия ( $p < 0.01–0.05$ ) значений прироста побегов ( $n + 3$ )-го порядка в 1999–2002 гг. как у разных онтогенетических групп *B. pendula*, так и у деревьев в различных условиях произрастания. В относительно чистых условиях произрастания (участок 1) у разновозрастных генеративных особей *B. pendula* различия длин побегов ( $n + 3$ )-го порядка были отмечены только в 1999 г., в условиях среднего загрязнения среды (участок 4) ежегодно у  $g_3$ -деревьев прирост побегов был выше по сравнению с таковым у других онтогенетических групп (рис. 1), число удлинённых побегов ( $n + 4$ )-го порядка также увеличилось. Однако число структурных элементов на побегах ( $n + 3$ )-го порядка (метамеров на годичном побеге), а также число укороченных побегов ( $n + 4$ )-го порядка не различаются у разновозрастных особей *B. pendula* ( $p > 0.05$ ). Следовательно, интенсивный рост побегов  $g_3$ -особей *B. pendula* в неблагоприятных условиях определяется более значительным растяжением междоузлий в процессе видимого роста побега. В условиях загрязнения среды промышленно-транспортными выбросами у разновозрастных деревьев *B. pendula* активизируются ростовые процессы. Так, например, в 2002 г. прирост побегов деревьев в зоне умеренного загрязнения среды был в 1.31–1.47 раза выше такового у контрольных деревьев ( $p < 0.05$ ).

Увеличение прироста побегов у разновозрастных особей *B. pendula* в условиях воздушного загрязнения среды, по-видимому, обусловлено как повышенными температурами и содержанием углекислого газа в воздухе, так и использованием загрязняющих веществ как дополнительных элементов минерального питания (Илькун, 1978; Бухарина и др., 2007).

Далее была предпринята попытка охарактеризовать состояние окружающей среды в Йошкар-Оле в относительно чистых и антропогенно нарушенных местообитаниях с помощью оценки ФА у листьев *B. pendula* разных онтогенетических состояний. ФА – незначительные ненаправленные различия между правой и левой сторонами различных морфологических структур, в норме обладающих билатеральной симметрией (Захаров и др., 2000). Выбор листа *B. pendula* как показателя здоровья среды достаточно эффективен, что подтверждается многочисленными исследованиями в данном направлении (Захаров и др., 2000; Гелашвили и др., 2001; Стрельцов, 2003; Захаров, 2014; Шадрина, Вольперт, 2018). Листья с удлинённых побегов не используются, так как у них выявляется больше нарушений в программе развития (Захаров и др., 2000). Мы полагаем, что укороченные побеги могут подвергаться негативному влиянию факторов окружающей среды в течение нескольких лет, а удлинённые однолетние побеги чувствуют и испытывают краткосрочное воздействие, и поэтому их можно использовать для подобного изучения особенностей развития в текущем вегетационном периоде.

Считается, что уровень “ошибок” в ходе развития организма (онтогенеза или морфогенеза) в нормальных условиях минимален и возрастает при любом стрессующем воздействии, что и приводит к увеличению асимметрии.

Проведенный двухфакторный дисперсионный анализ выявил зависимость ФА листьев с удлинённых побегов от возрастных особенностей деревьев *B. pendula* только в зоне умеренного за-

**Таблица 1.** Средние значения показателя флуктуирующей асимметрии листьев с удлинённых побегов у особей *Betula pendula* в 2000 г.

Участок	g <sub>1</sub> -деревья	g <sub>2</sub> -деревья	g <sub>3</sub> -деревья
1	0.039 ± 0.002 (I)	0.039 ± 0.001 (I)	0.037 ± 0.003 (I)
2	0.039 ± 0.003 (I)	0.037 ± 0.003 (I)	0.035 ± 0.002 (I)
3	0.050 ± 0.0021 (IV)*	0.049 ± 0.004 (III)*	0.041 ± 0.002 (II)*
4	0.055 ± 0.002 (V)**	0.048 ± 0.003 (III)	0.045 ± 0.003 (III)**

Примечание. \* –  $p < 0.05$ , \*\* –  $p < 0.01$ . I–V – баллы (Захаров и др., 2000); для табл. 1 и 2.

**Таблица 2.** Средние значения показателя флуктуирующей асимметрии листьев с укороченных побегов у g<sub>2</sub>-особей *Betula pendula* в разные годы исследования

Участок	2000 г.	2001 г.	2016 г.
1	0.036 ± 0.001 (I)	0.036 ± 0.001 (I)	0.039 ± 0.004 (I)
2	0.039 ± 0.001 (I)	0.037 ± 0.003 (I)	0.041 ± 0.002 (II)
3	0.046 ± 0.002 (III)	0.048 ± 0.003 (III)	0.047 ± 0.002 (III)
4	0.050 ± 0.001 (IV)	0.048 ± 0.002 (III)	0.053 ± 0.002 (IV)
5	–	–	0.034 ± 0.002 (I)
6	–	–	0.054 ± 0.003 (IV)

Примечание. “–” – отсутствие данных.

грязнения ( $p < 0.01–0.05$ ). Изучаемый показатель у g<sub>1</sub>-особей двух участков наиболее загрязненной зоны на один балл выше (пятый балл – критическое состояние организма), у g<sub>3</sub>-особей – на один балл ниже (второй и третий баллы – незначительные и средние нарушения в развитии), чем уровень ФА листьев с укороченных побегов (табл. 1). На остальных участках балльные оценки отклонения состояния листьев *B. pendula* от нормы по рассматриваемому показателю не различаются при использовании листьев с побегов разного типа.

Следовательно, однолетние побеги у g<sub>1</sub>-особей *B. pendula* в условиях среднего загрязнения среды более чувствительны к загрязнению, а у g<sub>3</sub>-особей менее чувствительны (Турмухаметова, Шивцова, 2007). Это, возможно, свидетельствует о разной устойчивости зачатков листьев в материнской почке, закладывающихся в год, предшествующий сбору материала, к загрязнению на первом и третьем этапах генеративного периода *B. pendula*.

В результате исследования установлено, что значение интегрального показателя стабильности развития листа *B. pendula* с укороченных побегов не зависит от онтогенетического состояния растения ( $p > 0.05$ ). Морфогенез листа с укороченного типа побега у разновозрастных особей *B. pendula* генеративного периода онтогенеза достаточно стабилен. Следовательно, для проведения подобных работ можно собирать листья с укороченных побегов березы повислой, не учитывая возраст генеративных деревьев. Ранее (Амосова, Феклистов, 2010) была изучена ФА листа с укороченных

побегов *B. pendula* в условиях Архангельска и было выявлено отсутствие различий по изучаемому признаку у прегенеративных и генеративных особей.

В 2016 г. было продолжено мониторинговое исследование с использованием ФА листовой пластинки березы повислой. Анализировали листья, собранные только с укороченных побегов g<sub>2</sub>-деревьев (участки 1–4). Была выявлена зависимость возрастания ФА листьев с укороченных побегов *B. pendula* с повышением степени антропогенного пресса (табл. 2, 3). По пятибалльной шкале стабильности развития (Захаров и др., 2000) состояние деревьев *B. pendula* на участке 1 соответствует условной норме (первый балл), на участке 2 – условной норме (первый балл; 2000 и 2001 гг.) и незначительным нарушениям в развитии (второй балл; 2016 г.), на участке 3 – средним нарушениям в развитии (третий балл), на участке 4 – средним (третий балл; 2001 г.) и существенным нарушениям в развитии (четвертый балл; 2000 и 2016 гг.). Следовательно, неблагоприятные условия в зоне умеренного загрязнения среды отразились на морфоструктуре особей в фрагментах популяции *B. pendula*, в которых преобладают деревья с высокой ФА листа. Данная тенденция сохранилась в разные годы исследования у замаркированных деревьев в Йошкар-Оле ( $p < 0.001$ ) (Турмухаметова, Сухорукова, 2017).

За 15 лет характеристика качества среды по величине интегрального показателя стабильности развития березы повислой сохранилась на прежнем уровне, что доказывают результаты трехфак-

**Таблица 3.** Результаты дисперсионного анализа показателя флуктуирующей асимметрии листа с укороченных побегов *Betula pendula* в разные годы исследования

Исследуемый фактор	Число степеней свободы	Средний квадрат эффекта	F-критерий	p
Местообитание	3	0.0098	19.353	$10^{-7}$
Год	2	0.001	2.061	0.127
Дерево	9	0.0005	1.090	0.367
Взаимодействие	54	0.00032	0.638	0.98
Ошибка	1080	0.00051		

торного дисперсионного анализа: отсутствие статистически значимого влияния фактора “год” на показатель ФА (табл. 3) ( $p > 0.05$ ).

Кроме того, анализировали материал, собранный в 2016 г. в березняках в двух районах РМЭ, в условиях отсутствия явного антропогенного воздействия. На участке 5 (Юринский район, д. Подлесная) ФА = 0.034, что соответствует первому баллу по шкале оценки отклонений (Захаров и др., 2000), на участке 6 (Звениговский р-н, пос. Суслонгер) ФА = 0.054, что соответствует четвертому баллу. Это свидетельствует о нормальном состоянии или о существенном нарушении развития особей. На участке регулярно сливали мазут, что и могло вызвать нарушения стабильности развития листовых пластинок *B. pendula*.

Значения интегрального показателя стабильности развития листьев *B. pendula* в разных районах Йошкар-Олы согласуются с зонированием города по уровню загрязнения на основании данных других биоиндикационных исследований (Экология..., 2007), а также с данными по химическому анализу атмосферного воздуха (Государственный..., 1999, 2017).

С помощью морфологического анализа листьев были выявлены как точечные некротические повреждения, хлорозы, так и разнообразные повреждения насекомыми. Было установлено, что площадь повреждений листовой поверхности *B. pendula* в окрестностях Йошкар-Олы очень небольшая (0–5%) (Красинский, 1950), однако значение этого показателя возрастает с увеличением интенсивности антропогенной нагрузки. Кроме того, в условиях загрязнения у *B. pendula* уменьшаются некоторые показатели анатомической структуры листа: толщина листовой пластинки, высота верхнего и нижнего эпидермиса, высота столбчатой и губчатой паренхимы ( $p < 0.05$ ), причем в большей степени поражаются клетки нижнего эпидермиса листьев. Данные негативные процессы компенсируются сохранением относительно большой площади листовой пластинки, что, возможно, определяет адаптацию *B. pendula* к загрязнению среды промышленно-транспортными выбросами (Турмухаметова, 2005).

Дисперсионный анализ площадей листовых пластинок березы повислой, собранных в 2017 г., и их повреждений выявил увеличение этих показателей в градиенте загрязнения среды (рис. 2) ( $p < 0.01$ ). Подобная закономерность была отмечена и другими исследователями (Кавеленова, Леонтьева, 2003; Бухарина и др., 2007; Хузина, 2010; Клевцова, 2014).

Можно предположить, что отдельные ингрессивы, содержащиеся в воздухе, оказали стимулирующее влияние на рост листовой пластинки. Увеличение площади поврежденной ткани листьев в градиенте загрязнения среды может быть связано с тем, что в условиях антропогенного пресса деревья становятся ослабленными и чаще подвергаются нападениям членистоногих фитофагов. Данная тенденция была отмечена во время исследования структуры энтомокомплексов березы повислой в условиях Йошкар-Олы (Турмухаметова, 2017): с увеличением степени антропогенной нагрузки уменьшается видовое разнообразие членистоногих филофагов березы повислой в 1.5–2.8 раза, однако при этом относительное обилие отдельных наиболее массовых вредителей листьев (тлей, галлиц и клещей) возрастает.

Далее был проведен анализ статистической взаимосвязи показателя стабильности развития *B. pendula* и числа видов дендробионтов, обитающих в ее кроне. Была выявлена обратная корреляционная связь ( $r_s = -1$ ,  $p < 0.05$ ). Возрастание интегрального показателя стабильности развития с увеличением антропогенной нагрузки было сопряжено с уменьшением разнообразия насекомых-дендробионтов разных групп от филофагов и энтомофагов до пантофагов. В условиях среднего загрязнения среды промышленно-транспортными выбросами повышалось относительное обилие членистоногих, ведущих скрытый или полускрытый образ жизни и формирующих защитные приспособления (галлы, внутренние полости и скручивание листьев). Число насекомых-листогрызов, характерных для естественных лесных массивов, в районах с промышленными и транспортными выбросами сокращается, что может быть обусловлено как островной пространствен-

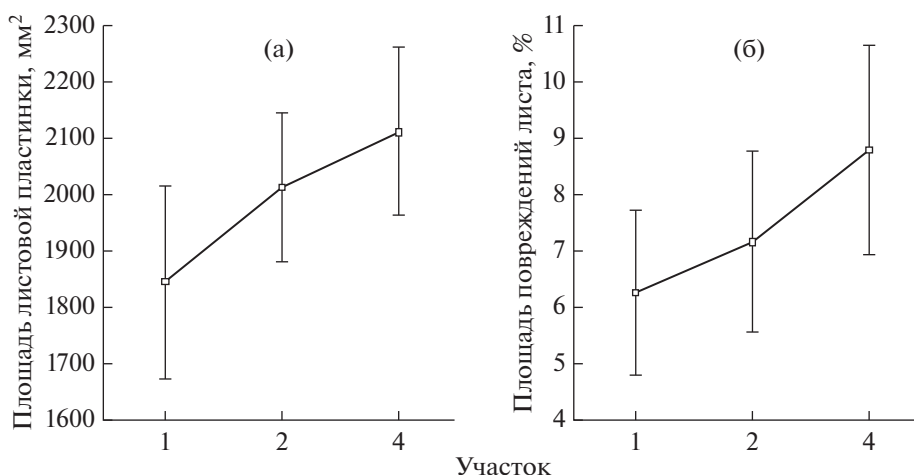


Рис. 2. Площадь листовой пластинки *Betula pendula* (а) и площадь повреждений листа (б).

ной структурой городских зеленых насаждений, так и прямым воздействием на насекомых поллютантов, а также ухудшением качества кормового ресурса (Турмухаметова, 2017).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Деревья *B. pendula* в условиях Йошкар-Олы испытывают комплексное неблагоприятное воздействие специфического микроклимата городской среды, загрязнения атмосферы и почвы промышленно-транспортными выбросами. У старых генеративных деревьев *B. pendula* в техногенной среде размерная поливариантность побегов проявляется в увеличении прироста побегов и числа побегов следующего порядка без изменения числа метамеров. Специфический микроклимат и загрязнение городской среды способствуют активации ростовых процессов побегов и листовых пластинок особей *B. pendula*. Применение морфометрических показателей побеговой системы и площади листовых пластинок березы повислой в качестве биоиндикационных может привести к неверным выводам.

В условиях умеренного загрязнения среды у разновозрастных деревьев происходят разнонаправленные изменения в развитии листьев с укороченных и удлиненных побегов, не соответствующие норме. ФА листьев у однолетних удлиненных побегов *B. pendula* позволяет выявить степень чувствительности разновозрастных особей к загрязнению среды. У генеративных деревьев *B. pendula* отмечается большее постоянство морфообразовательных процессов листьев именно с укороченных побегов. Так как ФА листьев с укороченных побегов не зависит от онтогенетического состояния особи, то этот показатель более универсален.

Наиболее информативны такие морфометрические индикационные показатели состояния среды у особей *B. pendula*, как ФА листьев с укороченных побегов и площадь повреждения листовой пластинки. Полученные результаты свидетельствуют о неблагоприятности среды обитания в окрестностях фармацевтического завода в Йошкар-Оле. Использование значений ФА листовой пластинки *B. pendula* как характеристики интегрального показателя стабильности развития позволило оценить состояние среды в некоторых местообитаниях на территории Йошкар-Олы. Проведенное биоиндикационное исследование согласуется с зонированием городской территории по данным химического и биологического мониторингов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Амосова И.Б., Феклистов П.А. Асимметрия листовой пластинки березы повислой у особей разного возрастного состояния в пригородных лесах г. Архангельска // Изв. вузов. Лес. журн. 2010. № 2. С. 60–66.
- Беланова А.П., Банаев Е.В., Томошевич М.А., Чиндяева Л.Н. Состояние древесных растений в разных экологических зонах сибирского города // Изв. СамарНЦ РАН. 2016. Т. 18. № 2 (2). С. 292–296.
- Булохов А.Д. Экологическая оценка среды методами фитоиндикации: монография. Брянск: Изд-во БГПУ, 1996. 104 с.
- Бухарина И.Л., Поварницина Т.М., Ведерников К.Е. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде: монография. Ижевск: ИжевГСХА, 2007. 216 с.
- Василенко М.И., Гончарова Е.Н. Биологические методы в оценке качества городской среды // Управление городом: теория и практика. 2017. № 3(26). С. 26–33.
- Гелашвили Д.Б., Краснов А.Н., Логинов В.В., Мокров И.В., Радаев А.А., Силкин А.А., Слепов А.В., Чупрунов Е.В. Методологические и методические аспекты мони-

- торинга здоровья среды. Здоровье среды Керженского заповедника // Тр. Гос. природного заповедника "Керженский". Н. Новгород: ННГУ, 2001. С. 287–324.
- Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Марий Эл в 1998 г. Йошкар-Ола: М-во экологии и природопользования РМЭ, 1999. 190 с.
- Государственный доклад о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Республики Марий Эл в 2016 г. Йошкар-Ола: Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по РМЭ, 2017. 207 с.
- Джумабаева Ш.Б.* Ритм сезонного развития, морфологическое и анатомическое строение органов побега некоторых видов древесных растений, используемых для озеленения г. Караганды: Автореф. дис. канд. биол. наук. Л.: ЛГУ, 1978. 17 с.
- Жеребцова Г.П.* Изменение жизнеспособности древесных растений в условиях городской среды: Автореф. дис. канд. биол. наук. М.: Моск. лесотехн. ин-т, 1976. 31 с.
- Захаров В.М.* Оценка состояния биоразнообразия и здоровья среды // Поволж. экол. журн. 2014. № 1. С. 50–59.
- Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубиншвили А.Т.* Здоровье среды: методика оценки. М.: ЦЭПР, 2000. 66 с.
- Заугольнова Л.Б., Жукова Л.А., Комаров А.С., Смирнова О.В.* Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии). М.: Наука, 1988. 184 с.
- Илькун Г.М.* Загрязнители атмосферы и растения. Киев: Наук. думка, 1978. 246 с.
- Кавеленова Л.М., Леонтьева М.В.* К возможности оценки экофизиологических параметров высших растений в условиях ООПТ // Экологические проблемы заповедных территорий России / Под ред. Саксонова С.В. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. С. 92–96.
- Клевцова М.А.* Фитоиндикационная оценка состояния заповедных и урбанизированных территорий (на примере Воронежской области) // Вестн. Тамбов. ун-та. Естеств. и техн. науки. 2014. Т. 19. Вып. 5. С. 1301–1303.
- Красинский Н.П.* Теоретические основы построения ассортиментов газоустойчивых растений // Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые сорта. Горький: Горьк. гос. ун-т, 1950. С. 111–171.
- Мозолевская Е.Г.* Концепция мониторинга состояния зеленых насаждений и городских лесов г. Москвы // Вестн. МГУЛ – Лес. вестник. 1998. № 2. С. 5–13.
- Мэннинг У.Д., Федер У.А.* Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений. Л.: Гидрометеопиздат, 1985. 143 с.
- Неверова О.А.* Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды // Биосфера. 2009. № 1(1). С. 82–92.
- Неверова О.А., Колмогорова Е.Ю.* Древесные растения и урбанизированная среда. Экологические и биотехнологические аспекты. Новосибирск: Наука, 2003. 222 с.
- Николаевский В.С.* Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. М.: МГУЛ, 1999. 193 с.
- Рамазанова З.Р., Асадулаев З.М., Магомедова Б.М.* Адаптивные особенности анатомической структуры листьев *Platanus orientalis* L., *Quercus robur* L., *Ulmus pumila* L. в условиях Махачкалы // Изв. ДагГПУ. Естеств. и точн. науки. 2011. № 3. С. 54–59.
- Серебряков И.Г.* Морфология вегетативных органов высших растений. М.: Сов. наука, 1952. 391 с.
- Стрельцов А.Б.* Региональная система биологического мониторинга. Калуга: Изд-во Калуж. ЦНТИ, 2003. 158 с.
- 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: ЦСБС СО РАН, 2005. 19 с.
- Турмухаметова Н.В.* Оценка состояния лиственных деревьев и состава филофагов в условиях г. Йошкар-Олы // Самар. науч. вестн. 2017. Т. 6. № 4(21). С. 80–84.
- Турмухаметова Н.В., Сухорукова М.В.* К изучению флуктуирующей асимметрии листа *Betula pendula* Roth // Проблемы популяционной биологии: Матер. XII Всерос. популяционного семинара памяти Николая Васильевича Глотова (1939–2016), Йошкар-Ола, 11–14 апреля 2017 г. Йошкар-Ола: Стринг, 2017. С. 234–235.
- Турмухаметова Н.В., Шивцова И.В.* Морфологический подход к оценке состояния среды по асимметрии листа *Betula pendula* Roth и *Fragaria vesca* L. // Вестн. МГУЛ – Лес. вестн. 2007. № 5. С. 140–143.
- Федорова А.И., Никольская А.Н.* Практикум по экологии и охране окружающей среды: Уч. пособие. М.: Владос, 2003. 288 с.
- Хузина Г.Р.* Влияние урбаноcреды на морфометрические показатели листа березы повислой (*Betula pendula* Roth) // Вестн. Удмурт. ун-та. 2010. Вып. 3. С. 53–57.
- Чистякова А.А.* *Betula pendula* Roth – береза повислая // Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Деревья и кустарники. М.: МГПИ, 1989. С. 42–52.
- Шадрина Е.Г., Вольперт Я.Л.* Практика оценки здоровья среды: эффективность применения показателя флуктуирующей асимметрии и других биоиндикационных подходов // Жизнь Земли. 2018. № 40(2). С. 183–198.
- Экология города Йошкар-Олы: науч. издание / Отв. ред. Воскресенская О.Л. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2007. 300 с.
- Athari S., Kramer H.* Zur Problematik der Erfassung von umweltbedingten Zuwachsverbänden in Fichtenbeständen // Forst Holzwirt. 1983. Bd 38. № 8. S. 204–206.
- Khondhodjaeva N.B., Ismillaeva K.B., Ruzimbayeva N.T.* Bioindication and its importance in the conducting of ecological monitoring // Europ. Sci. 2018. № 4(36). P. 68–70.

- Lakatos F., Mirtchev S.* Manual for visual assessment of forest crown condition. Pristina: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014. 23 p.
- Mandre M., Ots K.* The height growth of trees // Dust Pollution and Forest Ecosystems. Tallin: Inst. Ecol., 1995. № 3. P. 117–118.
- Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Hamburg; Prague: United Nations Environment Programme and Economic Commission for Europe, 1998. 177 p.
- Schweingruber F.H., Kontic R., Winkler-Seifern A.* Eine jahringanalytische Studie zum Nadelbaumster in der Schweiz // Ber. Eidgenoss. Anst. Forstl. Versuch. 1983. № 253. 29 s.
- Sokal R.R., Rohlf F.J.* Biometry. N.Y.: Freeman, 1995. 887 p.
- Wenzel K.F.* Habitus-Anderung des Waldbaume durch Luftverunreinigung // Forstarchiv. 1971. Bd 42. № 8–9. S. 165–172.

## Assessment of the Condition of the Environment of Yoshkar-Ola by the *Betula pendula* Roth Morphometric Indicators

N. V. Turmukhametova<sup>#</sup>

Mari State University, pl. Lenina 1, Yoshkar-Ola, 424000 Russia

<sup>#</sup>e-mail: bonid@mail.ru

The results of long-term bioindication studies of assessing the state of silver birch *Betula pendula* Roth under different anthropogenic conditions in Yoshkar-Ola are presented. An increase in the morphometric indices of the shoot system and the area of leaf birch leaf blades under anthropogenic press is shown. The value of the fluctuating asymmetry (FA) index of the *B. pendula* leaf from shortened shoots does not depend on the ontogenetic state of the plant; for leaves from elongated shoots, it depends. The most informative morphometric indicator parameters of the state of the environment in *B. pendula* individuals are the FA index of leaves from shortened shoots and the area of damage to the leaf blade.