

УДК 674.031.632.13:634.0.265
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.95

АНОМАЛИИ ВЕТВЛЕНИЯ БЕРЕЗЫ (*Betula*) В ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОСАХ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ

*А.Б. Захаров, канд. биол. наук; ORCID: [0000-0003-4082-3792](https://orcid.org/0000-0003-4082-3792)
В.П. Бессчетнов, д-р биол. наук, проф.; ResearcherID: [S-5889-2016](https://orcid.org/S-5889-2016),
ORCID: [0000-0001-5024-7464](https://orcid.org/0000-0001-5024-7464)*

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, просп. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия, 603107; e-mail: alexeinn1@mail.ru, lesfak@bk.ru

Широкий спектр загрязняющих веществ может негативно отражаться на объектах растительного мира. Древесные виды активно аккумулируют поллютанты, образующиеся в результате антропогенной деятельности. Береза как распространенный вид в защитных посадках автомобильных дорог подвергается высокой нагрузке. Цель исследования – сравнительная оценка морфологии березы повислой и ее гибридных форм, подверженных влиянию факторов загрязнения среды выбросами автотранспорта, а также классификация признаков, несвойственных принятому таксономическому описанию вида. В процессе изучения обнаружены модификации вегетативных органов березы повислой вдоль автомагистрали Нижний Новгород–Москва. Морфология частей и органов березы вследствие несвойственных для этого вида экологических условий изменилась, появились различного рода морфозы и модификации. Отмечены выраженные изменения в виде активизации мутовчатости побегов, вариации формы и морфологии листовых пластин, увеличения толщины и структуры покровных тканей. Установлено, что измененные признаки возникают по закономерностям, зависящим от удаленности растений от источника загрязнения и пространственного расположения их вегетативных частей и органов. Выявленные закономерности могут быть использованы при селекции березы, устойчивой к химическому загрязнению, а также при совершенствовании методов дендроиндикации.

Для цитирования: Захаров А.Б., Бессчетнов В.П. Аномалии ветвления березы (*Betula*) в защитных лесных полосах автомагистралей // Лесн. журн. 2019. № 5. С. 95–104. (Иzv. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.95

Ключевые слова: береза повислая, морфология, поллютанты, модификации растений, изменчивость, дендроиндикация, защитные лесные полосы.

Введение

Развитие городов и транспортной инфраструктуры неразрывно связано с усилением их влияния на экологическую обстановку территорий. Урбанизированные районы оказывают многообразное воздействие на окружающую среду. Влияние очагов загрязнения сказывается и за их пределами. Распространение загрязняющих веществ канализируется по ветру, склону и течению. Это влечет за собой активизацию процессов деградации всех компонентов природной среды. Концентрация в окружающей среде поллютантов, образующихся в результате антропогенной деятельности, негативно отражается на растительном мире [11]. Древесные виды активно накапливают эти вещества и химические элементы.

Береза произрастает на всей территории России и во многих странах ближнего и дальнего зарубежья [6]. Встречается в виде чистых по составу популяций, а также как примесь к различным лесообразующим породам в хвойных и лиственных лесах. Она образует множество гибридных форм, которые

обладают высокой морозо- и засухоустойчивостью, нетребовательны к почвенным условиям [4]. Благодаря неприхотливости и разветвленной ажурной кроне данный вид широко используется в создании защитных лесных полос различного целевого назначения и конструкций, в том числе вдоль автомагистралей.

Анализ природных условий урбанизированной территории Балахнинской низменности показывает, что наряду с благоприятными почвенными и экологическими условиями произрастания березы имеются лимитирующие факторы техногенного происхождения. Одним из них выступает автомобильный транспорт. Согласно материалам доклада министерства экологии и природных ресурсов Нижегородской области «Состояние окружающей среды и природных ресурсов Нижегородской области в 2009 году» [14], на территории региона сосредоточено значительное количество единиц автомобильного транспорта. Вклад автотранспорта в суммарные выбросы составляет 69,2 % (в том числе: оксид углерода – 45,1 %, оксиды азота – 15,2 %, прочие поллютанты – 7,7 %). Продукты сгорания топлива, масел и истирания автомобильных шин попадают на прилегающие к дорогам территории, что определенным образом влияет на окружающую растительность. Воздействие загрязнителей имеет продолжительный во времени характер и контрастно проявляется в зоне, прилегающей к автодороге федерального значения Москва–Нижний Новгород (М7).

Несмотря на угнетающее воздействие поллютантов, у некоторых растений активируются ростовые процессы, приводящие к образованию частей и органов с морфологией, несвойственной их традиционному таксономическому описанию. Подобные изменения зафиксированы у березы повислой [1, 2, 10, 12, 16–23]. В частности, отмечено появление мутовчатости, изменение формы кроны и морфологии листовой пластины [7, 9]. В ряде работ представлены перечни видов, у которых были выявлены аномалии ветвления [3, 13, 14, 17]. В литературе, посвященной «ведьминым метлам», дискутируются причины их возникновения. Установлено, что активное ветвление является одной из распространенных неспецифических реакций на разнообразные воздействия, такие как влияние химических мутагенов, рентгеновского облучения и др. [15, 20–23]. Указанные изменения могут быть охарактеризованы зависимостями, которые в свою очередь позволят расширить наши представления о закономерностях возникновения морфозов. Данная проблема недостаточно изучена, ее решением могут быть новые комплексные подходы к анализу причин возникновения модификаций растений. Некоторые изменения, происходящие в морфологии березы, относятся к модификационной изменчивости, являясь эволюционно закрепленной реакцией генотипа растения на изменения условий внешней среды и возникая при неизменном генотипе. К особенностям данных изменений можно отнести их одинаковость и массовость. В то же время не исключается вероятность мутагенного действия поллютантов, индуцирующих соматические мутации и геномные перестройки. Модификации не наследуются, однако известны длительные модификационные изменения у некоторых бактерий, сохраняющиеся и в следующем поколении. У ряда организмов описаны модификации, которые закрепились на генетическом уровне в ходе продолжительного эволюционного процесса [5]. Наиболее распространены адаптивные модификации, способствующие выживанию организма в агрессивной среде [5, 11].

Цель исследования – сравнительная оценка морфологии березы повислой и ее гибридных форм, подверженных влиянию факторов загрязнения среды выбросами автотранспорта, а также классификация признаков, несвойственных принятому таксономическому описанию вида.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступали защитные лесные полосы с преобладанием в составе березой повислой, расположенные вдоль автомагистрали Нижний Новгород–Москва (высокая степень влияния автотранспорта). Координаты участков: 56°18'22" с. ш. 43°40'10" в. д.; 56°18'14" с. ш. 46°36'04" в. д. В качестве контрольного выбрано насаждение вдоль автомобильной дороги Богородск–Нижний Новгород (средняя степень влияния автотранспорта) с координатами 56°08'33" с. ш. 43°39'54" в. д.

В соответствии с целью исследования была выдвинута рабочая гипотеза о том, что при загрязнении почвы тяжелые металлы и другие элементы или соединения проникают в ткани растений через корневую систему и распространяются далее равномерно. Значит, и формирование узлов с аномальным ветвлением в верхней части кроны не может быть более интенсивным. Данное утверждение позволяет выдвинуть предположение о преимущественном воздействии на верхние части кроны поллютантов, образуемых выхлопными газами автомобилей, через воздушную среду.

Исследования проводили полевым стационарным и лабораторными методами. Биологические образцы отбирали после предварительного осмотра растений. Визуально определяли наличие нехарактерной для вида морфологии. Наиболее информативными для диагностики являлись части органов растений с повышенной мутовчатостью, измененной формой листовой пластины. Обследовались и те части растений, на которых нет видимых симптомов повреждения или поражения. Пробами для детального анализа служили видоизмененные и нормальные по фенотипу части растений. На каждом растении учитывали наличие вредных насекомых и признаков болезней. Отбирали 3-4 хорошо освещаемых побега взрослых растений или молодые растения целиком. Изъятие биологического образца проводили с наименьшим ущербом для растения. Образцы фотографировали, ткани растений подвергали гистологическому анализу с использованием микротомы (красители – фуксин, метиленовый синий) и микроскопа «МикМед-5». На каждом побеге определяли характер ветвления и длину, параметры листовых пластин и особенности их морфологии.

Результаты исследования и их обсуждение

При обследовании защитных лесных полос вдоль автомобильной дороги М7 зафиксировано массовое видоизменение вегетативных органов березы. Изменения в морфологии отмечены у более чем 457 деревьев на участке Нижний Новгород–пос. Северный (протяженность 14 км). Визуальный осмотр их кроны показал нехарактерную для вида мутовчатость побегов: наличие многочисленных узлов с большим количеством сухих ветвей разных вегетационных периодов, выросших из этих узлов (рис. 1).

Эти морфологические изменения были однотипными и проявлялись на всех учтенных деревьях, подверженных воздействию поллютантов. Установлено, что форма кроны по длине ствола неодинаковая, прослеживается достаточно четкая граница между кроной, соответствующей таксономическому описанию, и кроной с большим количеством ветвящихся узлов. Известно, что аномальная мутовчатость может вызываться некоторыми видами аскомицетов. Однако при изучении тканей и покровов растений под микроскопом с применением специфических красителей не было обнаружено микроорганизмов.



Рис. 1. Ветвление березы пушистой в зоне негативного влияния автотранспорта на участке автомагистрали М7 у пос. Северный

Fig. 1. Branching of white birch under the negative influence of vehicles on the site of the M7 highway near of the Severny village

Причиной возникновения изменений, которые вызвали нарушения морфогенеза и, как следствие, появление нетипичного для представителей вида фенотипа, может выступать повышенное содержание загрязняющих веществ в приземных слоях воздуха.

Исследования узлов на ветвях березы показали, что новообразование представляет собой одревеснение побега с активным нарастанием биомассы (зафиксированы в образцах длиной от 8,0 см до 10,5 см) с большим числом побегов текущих лет. Количество побегов в разных образцах изменялось от 35 шт. до 57 шт., при этом живыми из них являлись только побеги текущего года, в среднем 13 побегов (рис. 2).

На рис. 2 также видно наличие вегетативных почек, заложившихся в зоне формирования покровных тканей. Зеленые побеги, возникшие на узле, после отделения от дерева продолжительное время оставались в нормальном состоянии: тургор клеток сохранялся на протяжении 3 сут несмотря на свободное хранение образцов при комнатной температуре. Образцы, взятые с дерева на незагрязненной территории, в тех же условиях теряли это свойство уже через 4 ч.



Рис. 2. Внешний вид ветвящегося узла (слева) и его рассеченная часть (справа)

Fig. 2. The habit of a branching node (on the left) and its dissected part (on the right)

Исследование внутренней структуры узлов вскрыло увеличение толщины покровных тканей продольного среза узла и флоэмы ветвей, толщина которых в совокупности составляла в среднем $(3,5 \pm 0,5)$ мм. При этом естественная норма для основной ветви – $(1,5 \pm 0,5)$ мм. В одревесневших тканях узлов присутствуют многочисленные вросшие побеги прошлых лет. При ретроспективном анализе установлен их возраст – 7 лет, что свидетельствует о продолжительном антропогенном воздействии. Микроскопический анализ обнаружил увеличение толщины эпидермального слоя узлов по отношению к типичным побегам в 2,3 раза. Размер клеток также увеличен, что может свидетельствовать о повышении их жизнеспособности.

Отмечены отклонения формы листовых пластинок ветвей, сформированных на узлах, от типичного фенотипа листьев, развившихся в верхней части кроны, где нет признаков мутовчатости (рис. 3).



Рис. 3. Листовые пластины березы из верхней части кроны (слева) и с побегов на узлах (справа)

Fig. 3. Birch leaf lamina from the top of crown (on the left) and from shoots on nodes (on the right)

Как видно на рис. 3, зубчатость видоизмененных листьев отличается от таковой у типичных. Листья от ветвей с нормальным фенотипом очередные, цельные, по краю зубчатые, яйцевидно-ромбические, моносимметричные. Отличительной особенностью листовых пластин с узлов является их форма, при этом жилкование листовой пластинки также совершенное – основные жилки оканчиваются в зубцах. Количество зубцов варьируется от 5 до 14. Статистические данные параметров листовых пластин приведены в табл. 1.

Материалы статистического анализа, приведенные в табл. 1, вскрыли неодинаковый характер развития листовых пластин березы повислой на участках с разным уровнем загрязнения выбросами автотранспорта. Так, средние арифметические величины на более подверженном антропогенному влиянию участке автодороги по длине составляют $(7,0 \pm 0,05)$ см, по ширине – $(5,6 \pm 0,05)$ см, что на 20 % ниже параметров листовых пластин, отобранных с контрольной пробной площади. Установленная дифференциация преимущественно обусловлена разным уровнем концентрации поллютантов на указанных участках.

Таблица 1

**Статистические показатели листовых пластин березы повислой,
растущей вдоль автомагистралей с различным уровнем
интенсивности эксплуатации**

Статистический показатель	Богородск–Нижний Новгород		М7 (у пос. Северный)	
	Длина	Ширина	Длина	Ширина
Среднее арифметическое значение (М)	8,13	5,41	7,02	5,66
Стандартное отклонение (σ)	1,07	0,81	0,70	0,72
Коэффициент вариации (C_v), %	13,20	14,96	9,94	13,02
Ошибка среднего значения ($\pm m_x$)	$\pm 0,07$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$
Точность опыта (Р), %	0,90	0,97	0,65	0,85
Дисперсия (D)	1,14	0,65	0,48	0,52
Ошибка коэффициента вариации ($\pm m_c$)	$\pm 0,0064$	$\pm 0,00687$	$\pm 0,0045$	$\pm 0,0059$
Ошибка стандартного отклонения ($\pm m_\sigma$)	$\pm 0,0518$	$\pm 0,03716$	$\pm 0,0320$	$\pm 0,0332$
Ошибка точности опыта ($\pm m_p$)	$\pm 0,0004$	$\pm 0,00045$	$\pm 0,0003$	$\pm 0,0003$
t_x	110,590	102,896	154,870	118,220
t_c	20,64	21,7715	21,771	21,771
t_σ	20,64	21,7715	21,771	21,7715

Отмечено, что дисперсия длины и ширины листьев увеличивается по мере удаления от источников загрязнения. Так, дисперсия по длине листовых пластин на менее нагруженном участке составляла 1,14, на учетной площади у пос. Северный – 0,48, а по ширине листа на автомобильной дороге Богородск–Нижний Новгород – 0,65, на автомагистрали М7 – 0,52. Данные фактические показатели дисперсии могут быть связаны с нормой реакции генотипа растений. На более загрязненных участках на фоне общего угнетения растений имеется диапазон минимальных значений длины и ширины листовых пластин, в связи с чем дисперсия биометрических показателей у угнетенных растений ниже по длине на 59 %, по ширине – на 20 %.

Анализ собранного материала позволил выявить закономерности ветвления березы повислой в различных условиях антропогенного влияния. В существенно угнетенных насаждениях отмирание побегов происходит еще на начальном этапе формирования, по мере роста их численность уменьшается. Так, среднее количество побегов длиной 5,0 см достигает 45 шт., 10,0 см – 35 шт., 50,0 см – не более 5 шт.

Чем ближе к источнику загрязнения находилось дерево, тем более активное ветвление наблюдалось. Статистические данные по формированию побегов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Статистические показатели формирования длины побегов березы повислой вдоль автомагистралей с различным уровнем интенсивности эксплуатации

Статистический показатель	Богородск– Нижний Новгород	М7 (у пос. Северный)
Среднее арифметическое (M)	24,44	17,72
Стандартное отклонение (σ)	12,56	12,92
Коэффициент вариации (C_v), %	51,48	72,82
Ошибка среднего ($\pm m_x$)	$\pm 0,82$	$\pm 0,89$
Точность опыта (P), %	3,34	2,80
Сумма квадратов отклонений (СКО)	157,87	166,88
Ошибка коэффициента вариации ($\pm m_c$)	$\pm 0,0241$	$\pm 0,0354$
Ошибка стандартного отклонения ($\pm m_\sigma$)	$\pm 0,5773$	$\pm 0,6262$
Ошибка точности опыта ($\pm m_p$)	$\pm 0,0021$	$\pm 0,0021$
t_x	29,91	20,04
t_c	21,77	20,64
t_σ	21,77	20,64

Расчеты указывают на значительные расхождения по количеству и длинам побегов в разных условиях. На участке с высокой автомобильной нагрузкой средняя арифметическая длина побегов составляет $(17,7 \pm 0,89)$ см, что на 27,4 % ниже контрольного значения $(24,4 \pm 0,82)$ см. Различен и уровень СКО: в экологически более чистых условиях он ниже и равен 157, в антропогенно загрязненных данный показатель равен 166. Коэффициенты вариации составляют 51,48 % в неугнетенных условиях и 72,82 % при повышенной антропогенной нагрузке, что соответствует очень высокому уровню изменчивости по шкале Мамаева. В целом заметно, что на участке с повышенным уровнем загрязнения среды выбросами автотранспорта отклонения от норм в морфологии вида встречаются значительно чаще, чем в зонах с менее напряженным фоном поллютантов. Следовательно, чем сильнее проявляется эффект угнетающего воздействия на растения, тем большее число нетипичных побегов и листьев образуется на нем. Указанная тенденция характерна для всех учтенных в опыте деревьев.

Заключение

Экстремальное загрязнение атмосферы ведет к гибели побегов березы. Ответной реакцией растения предположительно явился активный синтез кининов и, как следствие, образование нетипичных для вида узлов с многочисленным ветвлением. Выявлены модификации березы повислой, в частности образование большого количества узлов с интенсивным ветвлением, увеличение толщины флоэмы и покровных тканей, возникновение которых вызвано преимущественно влиянием загрязнения воздушной среды автотранспортом. Этот тип изменений является ненаследуемым морфозом, проявившимся в нижнем пределе нормы реакции генотипа (отмирание побегов). Увеличение протяженности и фитомассы кроны наряду с увеличением толщины покровных тканей в образовавшихся узлах является модификацией, несущей адаптационный характер. Изменение формы листовой пластинки – морфоз, возникший вследствие нарушения в тканях угнетенного растения обмена веществ,

который носит неадаптационный характер. Зафиксированный длительный период сохранения тургора клеток и жизнеспособности побегов, сформированных на узлах, может свидетельствовать об усилении их жизненных функций и повышении устойчивости к стрессовым ситуациям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Амосова И.Б., Феклистов П.А. Асимметрия листовой пластинки березы повислой у особей разного возрастного состояния в пригородных лесах г. Архангельска // Лесн. журн. 2010. № 2. С. 60–66. (Изв. высш. учеб. заведений). [Amosova I.B., Feklistov P.A. Leaf Plate Asymmetry of Silver Birch of Various Age in Arkhangelsk Suburban Forests. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2010, no. 2, pp. 60–66]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/599/59997e883ce455b8cbc903c1d12b0687.pdf>
2. Баранова Т.В. Цитогенетические изменения проростков березы повислой при загрязнении городской среды // Вестн. Поволж. гос. технол. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 2(26). С. 77–82. [Baranova T.V. Cytogenetic Changes of *Betula pendula* Sprouts when Environment Pollution. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye* [Bulletin of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2015, no. 2(26), pp. 77–82].
3. Ванин С.И. Лесная фитопатология: учеб. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1955. 416 с. [Vanin S.I. *Forest Phytopathology: Textbook*. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1955. 416 p.].
4. Ветчинникова Л.В. Береза: вопросы изменчивости (морфо-физиологические и биохимические аспекты). М.: Наука, 2004. 183 с. [Vetchinnikova L.V. *Birch: Variability Problems (Morpho-Physiological and Biochemical Aspects)*. Moscow, Nauka Publ., 2004. 183 p.].
5. Гродницкий Д.Л. Эпигенетическая теория эволюции как возможная основа нового эволюционного синтеза // Журн. общей биологии. 2001. Т. 62, № 2. С. 99–109. [Grodnitsky D.L. The Epigenetic Theory of Evolution as a Basis for a New Evolutionary Synthesis. *Zhurnal obshchey biologii* [Biology Bulletin Reviews], 2001, vol. 62, no. 2, pp. 99–109].
6. Древесные породы мира: справ.. В 3 т. Т. 3. Древесные породы СССР / под ред. К.К. Калущкого. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 264 с. [*Tree Species of the World: Handbook in 3 vol. Vol. 3. Tree Species of the USSR*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982, pp. 54–57].
7. Ерофеева Е.А., Сухов В.С., Наумова М.М. Двухфазная зависимость некоторых эколого-морфологических и биохимических параметров листовой пластинки березы повислой от уровня автотранспортного загрязнения // Поволж. экол. журн. 2009. № 4. С. 288–295. [Erofeeva E.A., Sukhov V.S., Naumova M.M. Biphasic Dependence of Some Biochemical and Morphogenetic Birch Leaf Lamina Parameters on the Motor-Transport Pollution Level. *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal* [Povolzhskiy Journal of Ecology], 2009, no. 4, pp. 288–295].
8. Кирпичников В.С. Модификационная изменчивость и ее роль в эволюции // Развитие эволюционной теории в СССР (1917–1970-е годы) / отв. ред. С.Р. Микулинский, Ю.И. Полянский. Л.: Наука, 1983. С. 155–164. [Kirpichnikov V.S. Modification Variability and Its Role in Evolution. *Development of the Theory of Evolution in the USSR (1917–1970s)*. Ed. by S.R. Mikulinskiy, Yu.I. Polyanskiy. Leningrad, Nauka Publ., 1983, pp. 155–164].
9. Колмогорова Е.Ю., Кайдорина В.А., Неверова О.А. Морфологическая оценка состояния березы повислой в условиях действия выбросов автотранспорта // Лесн. журн. 2012. № 2. С. 20–27. (Изв. высш. учеб. заведений). [Kolmogorova E.Y., Kaydorina V.A., Neverova O.A. Morphophysiological Assessment Indices of the Woody Plants

Sustainability and Pollution of Air in Kemerovo. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2012, no. 2, pp. 20–27]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/2b1/bxqa3.pdf>

10. Коровин В.В., Новицкая Л.Л., Курносков Г.А. Структурные аномалии стебля древесных растений. М.: МГУЛ, 2001. 259 с. [Korovin V.V., Novitskaya L.L., Kurnosov G.A. *Stem Structural Anomalies of Woody Plants*. Moscow, MGUL Publ., 2001. 259 p.]

11. Неверова О.А., Позняковский В.М. Фитоиндикация загрязнения городской среды тяжелыми металлами (на примере г. Кемерово) // Лесн. журн. 2005. № 4. С. 92–95. (Изв. высш. учеб. заведений). [Neverova O.A., Poznyakovskiy V.M. Phytomonitoring of Urban Environment by Heavy Metals (on the Example of Kemerovo). *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2005, no. 4, pp. 92–96]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/bba/bba093ad33dd3c6a0a2831b2df56a66a.pdf>

12. Никерова К.М., Галибина Н.А. Влияние нитратного азота на пероксидазную активность в тканях *Betula pendula* Roth var. *pendula* и *B. pendula* var. *carelica* (Mercklin) // Сиб. лесн. журн. 2017. № 1. С. 15–24. [Nikerova K.M., Galibina N.A. The Influence of Nitrate Nitrogen on the Peroxidase Activity in Tissues of *Betula pendula* Roth var: *pendula* and *B. pendula* var: *carelica* (Mercklin). *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2017, no. 1, pp. 15–24]. DOI: [10.15372/SJFS20170102](https://doi.org/10.15372/SJFS20170102)

13. Носков В.И., Негруцкий С.Ф. К вопросу о происхождении «ведьминых метел» на сосне // Науч. зап. Воронеж. ЛТИ. 1956. Т. 15. С. 207–210. [Noskov V.I., Negrutskiy S.F. To the Issue of the Origin of “Witch’s Brooms” on a Pine. *Nauchnyye zapiski Voronezhskogo LTI*, 1956, vol. 15, pp. 207–210].

14. Состояние окружающей среды и природных ресурсов Нижегородской области в 2009 году: докл. / под общ. ред. Ю.Н. Гагарина, Т.А. Косариковой. Нижний Новгород, 2010. 289 с. Режим доступа: <http://mineco-nn.ru/doklad-sostoyanie-okruzhayushhej-sredy-i-prirodnikh-resursov-nizhegorodskoj-oblasti-v-2009-godu/> (дата обращения 16.01.19). [*The State of the Environment and Natural Resources of Nizhny Novgorod Region in 2009: A Report*. Ed. by Yu.N. Gagarin, T.A. Kosarikova. Nizhny Novgorod, 2010. 289 p.]

15. Туровцев Я.И. Индукция тератологических уклонений у плодовых растений под влиянием мутагенных факторов // Проблемы онкологии и тератологии растений: итоговый сб. Первого Всесоюз. совещ. по проблемам патологии новообразований у растений [26–28 февр. 1974 г.] / под ред. Э.И. Слепяна. Л.: Наука, 1975. С. 283–287. [Turvtsev Ya.I. Induction of Teratological Deviations in Fruit Plants under the Influence of Mutagenic Factors. *Issues of Oncology and Teratology of Plants: Final Collection of the First All-Union Meeting on the Issues of Tumor Pathology in Plants, February 26–28, 1974*. Ed. by E.I. Slepian. Leningrad, Nauka Publ., 1975, pp. 283–267].

16. Black-Samuelsson S., Andersson S. The Effect of Nutrient Stress on Developmental Instability in Leaves of *Acer platanoides* (Aceraceae) and *Betula pendula* (Betulaceae). *American Journal of Botany*, 2003, vol. 90, iss. 8, pp. 1107–1112. DOI: [10.3732/ajb.90.8.1107](https://doi.org/10.3732/ajb.90.8.1107)

17. Boyce J.S. *Forest Pathology*. New York, McGraw-Hill, 1961. 572 p.

18. Jónsson T.H. Stature of Sub-Arctic Birch in Relation to Growth Rate, Lifespan and Tree Form. *Annals of Botany*, 2004, vol. 94, iss. 5, pp. 753–762. DOI: [10.1093/aob/mch200](https://doi.org/10.1093/aob/mch200)

19. Raatikainen O.J., Taipale H.T., Pelttari A., Lapinjoki S.P. An Electron Microscope Study of Resin Production and Secretion by the Glands of Seedlings of *Betula pendula* Roth. *New Phytologist*, 1992, vol. 122, iss. 3, pp. 537–543. DOI: [10.1111/j.1469-8137.1992.tb00083.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb00083.x)

20. Rousi M., Tahvanainen J., Uotila I. A Mechanism of Resistance to Hare Browsing in Winter-Dormant European White Birch (*Betula pendula*). *The American Naturalist*, 1991, vol. 137, no. 1, pp. 64–82.

21. Thórsson Æ.Th., Pálsson S., Sigurgeirsson A., Anamthawat-Jónsson K. Morphological Variation among *Betula nana* (Diploid), *B. pubescens* (tetraploid) and Their Triploid Hybrids in Iceland. *Annals of Botany*, 2007, vol. 99, iss. 6, pp. 1183–1193. DOI: [10.1093/aob/mcm060](https://doi.org/10.1093/aob/mcm060)

22. Tinnin R.D., Knutson D.M. *How to Identify Brooms in Douglas-Fir Caused by Dwarf Mistletoe*. Research Note PNW-RN-426. Portland, OR, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, 1985. 8 p. DOI: [10.2737/PNW-RN-426](https://doi.org/10.2737/PNW-RN-426)

23. Valkama E., Salminen J.-P., Koricheva J., Pihlaja K. Comparative Analysis of Leaf Trichome Structure and Composition of Epicuticular Flavonoids in Finnish Birch Species. *Annals of Botany*, 2003, vol. 91, iss. 6, pp. 643–655. DOI: [10.1093/aob/mcg070](https://doi.org/10.1093/aob/mcg070)

ANOMALIES OF BIRCH (*Betula*) BRANCHING IN PROTECTIVE FOREST BELTS OF HIGHWAYS

A.B. Zakharov, *Candidate of Biology*; ORCID: [0000-0003-4082-3792](https://orcid.org/0000-0003-4082-3792)

V.P. Besschetnov, *Doctor of Biology, Prof.*; ResearcherID: [S-5889-2016](https://orcid.org/S-5889-2016),

ORCID: [0000-0001-5024-7464](https://orcid.org/0000-0001-5024-7464)

Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, prosp. Gagarina, 97, Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation; e-mail: alexeinn1@mail.ru, lesfak@bk.ru

A wide range of pollutants can reflect adversely on species of wild flora. Woody species actively accumulate pollutants formed as a result of anthropogenic activities. Birch as a widespread species in protection plantations of highways undergoes a high load. The research purpose is a comparative analysis of morphology of silver birch and its hybrid forms, which suffer from environmental pollution from vehicle emissions; as well as classification of parameters that are not usual for the accepted taxonomic description of the species. Modifications of vegetative organs of silver birch were found along the Nizhny Novgorod – Moscow highway during the research. Morphology of parts and organs of the birch has changed due to the environmental conditions unusual for this species; various morphoses and modifications have appeared. Marked changes in the form of increased whorled shoots, variations in the shape and morphology of leaf laminas, and an increase in thickness and structure of cover tissues were noted. It was found that modified parameters occur according to patterns that depend on the remoteness of plants from the pollution source and the spatial location of their vegetative parts and organs. The revealed regularities can be used in selection of birch resistant to chemical pollution, as well as in improvement of dendroindication methods.

For citation: Zakharov A.B., Besschetnov V.P. Anomalies of Birch (*Betula*) Branching in Protective Forest Belts of Highways. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 5, pp. 95–104. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.95

Keywords: silver birch, morphology, pollutants, plant modifications, variability, dendroindication, protective forest belts.

Поступила 16.01.19 / Received on January 16, 2019
