

УДК 630*18:632.15

ОСОБЕННОСТИ ПЛОДОНОШЕНИЯ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ В КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Е. В. Бажина, Л. Н. Скрипальщикова, А. П. Барченков

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

E-mail: genetics@ksc.krasn.ru, lara@ksc.krasn.ru, alexbarchenkov@mail.ru

Поступила в редакцию 25.06.2018 г.

Исследовали морфометрические количественные (длина и ширина женских сережек, длина и ширина орешков) и функциональные (всхожесть и энергия прорастания орешков, длина проростков) показатели женской репродуктивной сферы деревьев березы повислой *Betula pendula* Roth., растущих в зоне воздействия техногенных выбросов г. Красноярск. Исследования проводили на постоянных пробных площадях, заложенных в березовых массивах в юго-восточном, северном и северо-восточном направлениях от Красноярска. Репродуктивные процессы березы повислой в условиях Красноярской лесостепи изучены впервые. Исследования показали, что для деревьев березы Красноярской лесостепи характерна двухлетняя периодичность плодоношения. Размеры женских сережек и орешков варьируют в зависимости от генотипических особенностей деревьев, условий произрастания древостоя и разных лет исследований. При усилении степени техногенной нагрузки у деревьев березы выявлены определенные признаки снижения репродуктивной активности (уменьшение морфометрических показателей женских сережек и орешков), а также качественных показателей (всхожести и энергии прорастания) орешков. Выявлено, что длина и ширина орешков отрицательно коррелируют с содержанием фтора в листве, уравнения регрессии $y = -0.0489x + 2.8127$ и $y = -0.0346x + 1.7732$. Качественные показатели орешков березы (энергия прорастания) отрицательно коррелировали с количеством осевшей пыли на ее листовых пластинках и содержанием фтора в листовой массе. При этом максимальными показателями качества характеризовались плоды, собранные в фоновых условиях. Функциональные признаки женской репродуктивной сферы березы повислой являются диагностическими критериями для оценки состояния деревьев, а также могут служить прямым показателем экологических условий произрастания.

Ключевые слова: березняки разнотравные, женские репродуктивные структуры, сережки, орешки, техногенная пыль, валовой фтор.

DOI: 10.15372/SJFS20180610

ВВЕДЕНИЕ

Береза повислая *Betula pendula* Roth. – самый молодой вид из рода *Betula* с точки зрения продвинутой эволюции, который благодаря большой экологической пластичности и энергии распространения занимает обширные пространства в умеренной зоне Северного полушария (Вальтер, 1974). Береза повислая малотребовательна к внешней среде и может расти в самых разнообразных условиях (Шемберг, 1993). Широкое распространение березы свидетельствует о ее высоком адаптивном потенциале, что, очевидно, представляет собой резуль-

тат высокой плодовитости. Согласно основной теории отбора, приспособленность – количественная мера успеха размножения, причины которого могут сильно варьировать в отдельных случаях (Грант, 1991).

В лесостепной зоне, примыкающей к Красноярску, березняки встречаются повсеместно в виде небольших разрозненных массивов на склонах северной экспозиции, в логах и долинах рек (Флора..., 1992). Лесистость составляет около 15 %, преобладает разнотравная серия типов леса (Кузьмичев, 1985).

В последние десятилетия нормальное функционирование лесных экосистем, особенно при-

городных лесов, нарушено вследствие техногенного загрязнения атмосферы (Илькун, 1978; Лесные экосистемы..., 1990; Air pollution..., 2002; Экологическое состояние..., 2009; Зверев, 2012; de Vries et al., 2014). Под воздействием поллютантов растения становятся менее устойчивыми к различным неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам (засухе, низким температурам, вредителям и болезням и др.). Установлено, что жизнеспособность пыльцы и семян у различных видов снижается при гораздо меньших концентрациях поллютантов, чем вызывающие повреждения вегетативных органов (Masaru et al., 1980; Facticeau, Rowe, 1981; Бажина, 2001; Солнцева, Глазунова, 2010 и др.). Особое место в экологических исследованиях древесных растений занимает оценка качества семян, которое рассматривается как показатель потенциальных возможностей их семенного возобновления, характеризует адаптацию и устойчивость видов в условиях изменяющейся среды (Третьякова, Бажина, 1996; Жуйкова и др., 2002; Лукина, Василевская, 2008; Ибрагимова, 2010). Успех семенного размножения зависит как от количества и качества семян, так и от условий их прорастания и дальнейшего развития. Показано, например, что в примагистральных посадках и городских насаждениях всхожесть семян березы достоверно ниже по сравнению с контролем, и через 17–19 дней после посева наблюдалась полная гибель проростков (Мухортов и др., 2018).

Репродуктивные процессы березы повислой в условиях Красноярской лесостепи изучены впервые. Ранее показано, что в городских и пригородных насаждениях Красноярска формируются семена, не различающиеся по массе (Шемберг, 1993). Изучение компонентов пригородных березовых лесов имеет большое значение не только для оценки их средообразующей роли, но и для понимания глобальных последствий антропогенного воздействия на лесные экосистемы (Кузьмичев, 1985).

Цель данных исследований – оценка репродуктивного потенциала и жизнеспособности семян березы повислой в зоне воздействия промышленных выбросов Красноярска.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2016–2017 гг. на постоянных пробных площадях (ПП), заложенных в березовых массивах, произрастающих в юго-восточном, северном и северо-восточном

направлениях от Красноярска. Уровень загрязнения территории исследований определяется выбросами промышленных предприятий и транспорта Красноярска (более 200 тыс. т токсических веществ ежегодно), среди которых присутствуют бенз(а)пирен, формальдегид, оксиды серы и азота, соединения фтора, взвешенные вещества (Государственный доклад..., 2018). Содержание пыли на листовых пластинках и общего фтора в листе определяли в 2016 г. (Скрипальщикова и др., 2017). Сбор женских сережек березы проводили в конце августа с западной стороны деревьев на высоте от 2.5 до 6.0 м на ПП, расположенных на северо-восточной (ПП 1–2, 4) и северо-западной (ПП 6) окраинах города, а также в 20 км к северо-востоку (ПП 3) и в 38 км к северу (ПП 5). ПП 1–4 находятся в буферной зоне воздействия промышленных предприятий Красноярска (по розе ветров): ПП 1 – насаждение подвержено сильному антропогенному (рекреационному) воздействию, характер произрастания древостоя куртинный; ПП 2 – насаждение также подвержено рекреационной нагрузке, полнота древостоя 0.7; ПП 3 – рекреационное воздействие практически отсутствует, полнота 0.6; ПП 4 – насаждение подвержено рекреационной нагрузке, полнота – 0.9. ПП 5–6 – расположены в фоновых условиях: на ПП 5 имеются следы рекреации, полнота 0.9; ПП 6 – насаждение подвержено рекреационной нагрузке, полнота – 0.6. Обследовали насаждения V–VIII класса возраста, II–IV класса бонитета. Географические координаты мест расположения ПП и характеристика древостоев представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Для оценки состояния женской генеративной сферы березы проводили исследования количественных (размеры репродуктивных органов) и качественных (всхожесть и энергия прорастания плодов (орешков), средняя длина корешков) показателей. Репродуктивный потенциал определялся по морфологическим показателям (длина, ширина) женских сережек и орешков, а также по качественным показателям орешков (всхожесть и энергия прорастания, %), собранных в четвертой декаде августа. Пробы по 100 плодов проращивали в чашках Петри в термостате при температуре +26 °С в трехкратной повторности. Перед проращиванием орешки проходили предварительную подготовку (намачивание, очищение семян от крылаток, промывку). Ложом для проращивания служила фильтровальная бумага, которую увлажняли по мере необходимости, избегая избыточного

Таблица 1. Характеристика исследованных насаждений на ПП

№ ПП	Географические координаты		Состав древостоя	Тип леса	Класс		Содержание	
	с. ш.	в. д.			бонитета	возраста	пыли на листовых пластинках, г/кг а. с. м.	фтора в листе, мг/кг а. с. м
1	56°05'	93°10'	10Б	Злаково-разнотравный	IV	V	5	12.74
2	56°03'	93°09'	10Б + С	Разнотравно-злаковый	III	V	8	13.8
3	56°08'	93°11'	10Б	»	III	VI	5	17.1
4	56°02'	93°10'	10Б + С	Разнотравно-осочковый	II	V	3	15
5	56°21'	92°57'	10Б + Ос, С	Разнотравный	II	VI	2	8.8
6	55°99'	92°75'	10Б	»	IV	VIII	1	11.85



Рис. 1. Березняк разнотравно-злаковый V класса возраста в зоне воздействия выбросов промышленных предприятий и автотранспорта Красноярска (ПП 2).

увлажнения (ГОСТ 12026-76). Всхожесть определяли по ГОСТ 13056.6-75. За начало проращивания считали день, следующий за днем раскладки орешков. Продолжительность проращивания составляла 20 сут (ГОСТ 13056.6-97). Для определения жизнеспособности учитывали показатели всхожести (20 сут) и энергии прорастания (7 сут), а также среднюю длину проростков (20 сут). Измерения проводили при помощи стереоскопического микроскопа Микромед-МС-1. Достоверность различий рассчитывали по критерию t_{st} .

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования показали, что размеры женских сережек варьируют в зависимости от генотипических особенностей деревьев, условий произрастания древостоя, а также в разные годы исследований: длина – на 26.3–42.6, ширина – на 3.7–4.8 % (табл. 2).

Наиболее мелкие сережки стабильно формировались на ПП 2, однако по оценке разности выборочных средних в оба года достоверно отличалась лишь ПП 1 (табл. 3).

Таблица 2. Морфометрические показатели женских репродуктивных органов березы повислой

№ ПП	Длина сережек, мм		Ширина сережек, мм	Размер орешков, мм			
	2016 г.	2017 г.		2016 г.		2017 г.	
				Длина	Ширина	Длина	Ширина
1	25.3 ± 1.76	30.2 ± 0.57	2.5 ± 0.10	3.6 ± 0.09	1.6 ± 0.05	2.1 ± 0.10	1.4 ± 0.05
2	18.0 ± 0.86	20.7 ± 2.56	2.1 ± 0.10	3.2 ± 0.10	1.8 ± 0.03	2.0 ± 0.09	1.2 ± 0.02
3	32.2 ± 1.39	27.5 ± 0.40	2.3 ± 0.09	3.3 ± 0.11	1.5 ± 0.06	2.1 ± 0.04	1.2 ± 0.01
4	25.2 ± 1.22	26.8 ± 1.13	2.7 ± 0.10	3.4 ± 0.12	1.5 ± 0.07	2.0 ± 0.05	1.2 ± 0.01
5	18.9 ± 1.02	26.4 ± 0.50	2.7 ± 0.09	3.0 ± 0.15	1.5 ± 0.09	2.4 ± 0.05	1.4 ± 0.03
6	18.5 ± 0.70	23.0 ± 1.42	2.4 ± 0.08	3.1 ± 0.06	1.6 ± 0.07	2.4 ± 0.05	1.5 ± 0.35

Таблица 3. Параметрическая оценка достоверности различий (критерий Стьюдента, $P = 0.05$)

№ ПП	Длина сережек, мм												Длина орешков, мм					
	2016 г.						2017 г.						2017 г.					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+
2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
3			-	-	-	-			-	-	+	-			-	-	+	+
4				-	+	+				-	-	-				-	+	+
5					-	-					-	-					-	-
6						-						-						-

Размеры орешков березы на разных ПП в разные годы исследований различались незначительно – от 12.5 до 16.7 % (по длине) и от 14.3 до 20.0 % (по ширине). При этом в 2016 г. отмечена тенденция к уменьшению длины орешка на ПП 5 и 6, тогда как в 2017 г. этот показатель в контроле был достоверно выше.

Очевидно, на морфометрические показатели женских репродуктивных структур определяющее влияние оказывают погодные условия года развития. Отдельные морфологические показатели (длина и ширина) орешков березы отрица-

тельно коррелируют с содержанием фтора в листе предыдущего года (рис. 2).

Качественные показатели орешков также значительно варьировали в зависимости от года наблюдений и условий произрастания деревьев (табл. 4).

В 2016 г. максимальная всхожесть и энергия прорастания отмечены на ПП 3, 5, 6, расположенных на некотором удалении (ПП 3, 5 – 20–40 км) и на северо-западной окраине города (ПП 6). В то же время на ПП 1, 2, 4 функциональные показатели снижались на 18.1–29.3 %.

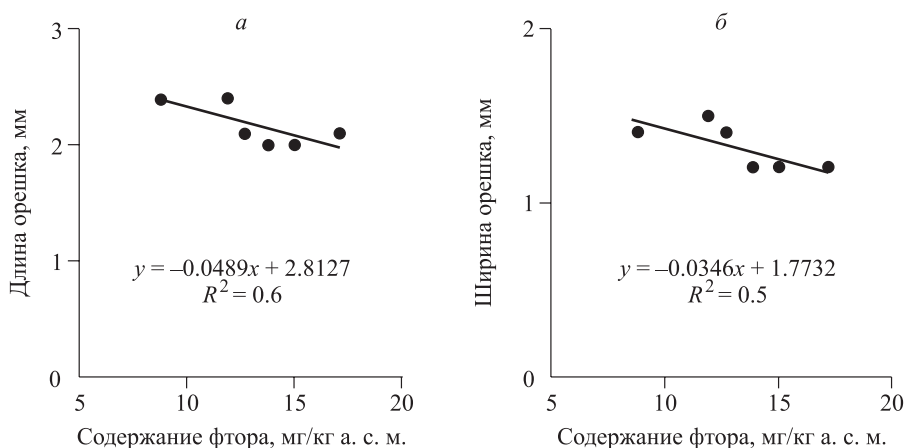


Рис. 2. Зависимость длины (а) и ширины (б) орешков 2017 г. от содержания фтора в листе (мг/кг а. с. м.), 2016 г.

Таблица 4. Показатели жизнеспособности орешков березы

№ ПП	Энергия прорастания		Всхожесть		Длина корешка, мм	
	%				2016 г.	2017 г.
	2016 г.	2017 г.	2016 г.	2017 г.		
1	51.3	26.0	66.7	28.1	0.6 ± 0.09	15.5 ± 3.89
2	62.6	13.6	72.7	14.4	0.6 ± 0.05	13.4 ± 3.35
3	62.1	72.4	80.8	80.4	0.6 ± 0.06	22.6 ± 1.56
4	60.9	20.5	62.8	28.6	0.6 ± 0.09	12.0 ± 4.01
5	88.0	5.6	88.9	15.3	0.7 ± 0.09	17.2 ± 3.70
6	80.8	58.8	88.8	70.4	0.7 ± 0.08	20.6 ± 2.21

В 2017 г. максимальная всхожесть и энергия прорастания отмечены у орешков на ПП 3, 6, тогда как у плодов, собранных на ПП 5, эти показатели резко снижались. Вполне возможно, что это обусловлено местными флуктуациями погодных условий, так как ПП 5 расположена в 40 км к северу от города.

Деревья березы, растущие на ПП 3 (20 км к северо-востоку от города), характеризуются стабильно высокими показателями качества орешков, что, вероятно, обусловлено относительной устойчивостью данного вида.

Наиболее значительно в разные годы исследований варьировала длина корешков. В 2016 г. этот показатель не превышал в среднем 0.6–0.7 мм, тогда как в 2017 г. изменялся на разных ПП на 30.2–31.4 %, достигая максимальных значений 17.2–22.6 мм на ПП 3, 5, 6. Вероятно, что погодные условия 2017 г. были более благоприятны для развития орешков березы и накопления в них питательных веществ. Ранее показано, что для популяций березы повислой в Западной Сибири характерна двухлетняя периодичность плодоношения: низкие урожаи с высокой долей пустых плодов наблюдаются через один год (Каледа, 1985). Функциональные показатели

жизнеспособности орешков березы на разных ПП отрицательно коррелировали с накоплением пыли на листовых пластинках и содержанием фтора в листе (рис. 3).

Морфологическая изменчивость признаков вегетативных органов и структура популяций в различных условиях произрастания, в том числе при техногенном загрязнении атмосферы, хорошо изучены для разных видов берез (Кулагин, 1963; James, Courtin, 1985; Ермаков, 1986; Махнев, 1987; Васфилов, 1989; Шибистова, Гирс, 1989; Данченко, 1990; Шемберг, 1993; Коновалов, 2003; Ветчинникова, 2004; Бойко, 2005; Катютин, 2005; Приймак, 2005; Plant ecology..., 2005; Vasil'ev et al., 2008; Зверев, 2012). Показано, что насаждения березы обладают большей способностью к аккумуляции поллютантов, чем хвойные (Кулагин, Шагиева, 2005).

Вместе с тем промышленное загрязнение крайне неблагоприятно воздействует на жизнедеятельность растений, вызывает сокращение сроков вегетации, уменьшение площади ассимилирующих органов, торможение процессов развития, снижает урожайность, вызывает ослабление роста и отмирание насаждений, усыхание лесов (Masaru et al., 1980; Кузьмичев, 1985; Тре-

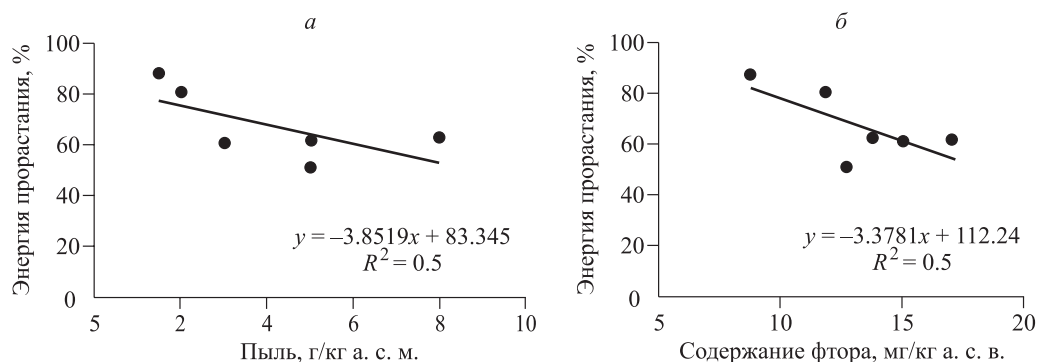


Рис. 3. Зависимость энергии прорастания орешков от содержания пыли на листовых пластинках (а) и фтора (б) в листе, 2016 г. ($P = 0.01$).

шоу, 1988; Лесные экосистемы..., 1990; Бажина, Третьякова, 2001; Менщиков, Ившин, 2006; Зверев, 2012). Известно, что особой агрессивностью отличаются сернистый газ, фтор и их соединения (Васфилов, 1986; Трешоу, 1988; Михайлова и др., 2006; Трубина, 2014; Trubina, 2014). У березы, произрастающей в зонах загрязнения, изменяется кислотность коры и ветвей, наблюдаются глубокие структурные и физиолого-биохимические изменения различных тканей и органов (Кулагин, 1974; Purvis et al., 2015).

Одним из негативных факторов в условиях промышленного загрязнения является осевшая на растениях пыль, которая тормозит рост растений (Спицына, Скрипальщикова, 1991). Однако наши исследования не выявили взаимосвязей между накоплением пыли на листовых пластинках и морфометрическими показателями репродуктивных органов березы повислой. Достоверные корреляции размеров женских сережек и орешков выявлены только с содержанием фтора в листе предыдущего года. Вероятно, содержание фтора оказывает влияние на морфометрические показатели в период заложения репродуктивных почек.

Одной из важнейших адаптивных реакций растений в условиях изменяющейся среды является формирование жизнеспособного семени. Формирование березовых насаждений происходит под влиянием различных эколого-географических условий, что отражается на генофонде популяций, приобретающих по этой причине специфичные наследственные особенности и изменчивость (Данченко, 1990; Трубина, 2014; Trubina, 2014; Кабанова и др., 2015). Имеются сведения о достоверном снижении всхожести орешков березы, собранных в условиях городской среды и нефтяного загрязнения (Бухарина и др., 2012; Мухортов и др., 2018). Возможно, это явление обусловлено влиянием поллютантов на цитогенетические показатели семенного потомства и уровень его генетической гетерогенности (Бурменко и др., 2018). Отмечено, что на Кольском п-ове даже значительное снижение выбросов, произошедшее в последние десятилетия, не отразилось на ростовых и демографических процессах березовых насаждений (Приймак, 2005). В наиболее загрязненных местообитаниях продолжается гибель деревьев при полном отсутствии возобновления, что может привести к полному исчезновению березы на некоторых загрязненных промышленностью территориях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Береза повислая отличается экологической пластичностью, быстрым ростом и хорошей адаптацией к условиям загрязненной среды обитания. Для березы Красноярской лесостепи выявлена двухлетняя периодичность плодоношения. Максимальными показателями качества характеризовались плоды, собранные в фоновых условиях (ПП 5 и 6). На северо-восточной промышленной окраине Красноярска наблюдается снижение энергии прорастания и всхожести плодов березы на 18.1–29.3 %, тогда как на расстоянии 20 км в этом направлении от города (ПП 3) репродуктивный потенциал и жизнеспособность орешков березы вполне удовлетворительные. Функциональные характеристики орешков березы (всхожесть и энергия прорастания) являются диагностическими критериями их качества и жизнеспособности. Результаты проведенных исследований показали, что функциональные характеристики плодов березы могут служить прямым показателем экологических условий произрастания.

Работа выполнена в рамках бюджетного проекта № 0356-2016-0301 и при частичной финансовой поддержке НИР № 29.03.08/2016 «Изучение устойчивости антропогенно нарушенных лесных экосистем в зонах длительного воздействия техногенных факторов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бажина Е. В. Биомаркеры нарушения гомеостаза деревьев пихты сибирской, произрастающих на территории заповедника «Столбы» // Мат-лы X Междунар. симп. «Концепция гомеостаза: теоретические, экспериментальные и прикладные аспекты», 13–19 декабря 2000 г., Красноярск. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2001. С. 20–23.
- Бажина Е. В., Третьякова И. Н. К проблеме усыхания пихтовых лесов // Успехи совр. биол. 2001. Т. 121. № 6. С. 626–631.
- Бойко А. А. Дендрэкологическая характеристика березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в условиях смешанного типа загрязнения окружающей среды (Уфимский промышленный центр): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05. Оренбург: Оренбург. гос. пед. ун-т, 2005. 20 с.
- Бурменко Ю. В., Баранова Т. В., Калаев В. Н. Сравнительный анализ цитогенетических реакций семенного потомства березы повислой и рододендрона Ледебурна на антропогенное загрязнение в городе Воронеже // Лесоведение. 2018. № 1. С. 65–73.

- Бухарина И. Л., Журавлева А. Н., Большова О. Г. Городские насаждения: экологический аспект. Ижевск: Изд-во «Удмуртск. ун-т», 2012. 206 с.
- Вальтер Г. Растительность земного шара. Эколого-физиологическая характеристика. Т. 2. Леса умеренной зоны. Пер. с нем. / Под ред. Т. А. Работнова. М.: Прогресс, 1974. 424 с.
- Васфилов С. П. Линейный прирост побегов у двух видов берез в условиях эмиссии диоксида серы // Экологические основы рационального использования и воспроизводства лесов Урала: информ. мат-лы. Свердловск, 1986. С. 84–85.
- Васфилов С. П. Рост и старение листьев у берез в условиях действия техногенного фактора // Проблемы использования, воспроизводства и охраны лесных ресурсов: мат-лы респ. науч.-практ. конф. Йошкар-Ола: Марийск. политех. ин-т им. А. М. Горького, 1989. С. 136–137.
- Ветчинникова Л. В. Береза: вопросы изменчивости (морфофизиологические и биохимические аспекты). М.: Наука, 2004. 183 с.
- ГОСТ 12026-76. Бумага фильтровальная лабораторная. Технические условия. Межгосударственный стандарт. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов СССР от 02.12.1976 г. № 2693. Изд. официальное. Переиздание (по состоянию на апрель 2008 г.). М.: Стандартинформ, 2008. 7 с.
- ГОСТ 13056.6-97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. Межгосударственный стандарт. Внесен Госстандартом России. Принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 12 от 21 ноября 1997 г.). Постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 12 марта 1998 г. № 48 межгосударственный стандарт ГОСТ 13056.6-97 введен в действие непосредственно в качестве государственного стандарта Российской Федерации с 1 июля 1998 г. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998. 28 с.
- Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2017 году». Красноярск: Мин-во экологии и рационального природопользования Красноярского края, 2018. 301 с.
- Грант В. Эволюционный процесс. М.: Мир, 1991. 488 с.
- Данченко А. М. Популяционная изменчивость березы. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 204 с.
- Ермаков В. И. Механизмы адаптации березы к условиям Севера. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1986. 144 с.
- Жуйкова Т. В., Безель В. С., Позолотина В. Н., Северухина О. А. Репродуктивные возможности растений в градиенте химического загрязнения среды // Экология. 2002. № 6. С. 432–437.
- Зверев В. Е. Влияние промышленного загрязнения на экологию березы Черепанова (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii* (Orlova) Hämet-Ahti) на Кольском полуострове: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Екатеринбург: Ин-т экол. раст. и животн. УрО РАН, 2012. 19 с.
- Ибрагимова Э. Э. Влияние техногенного стресса на процессы плодоношения и семенную репродукцию *Acer platanoides* L. // Человек–природа–общество: теория и практика безопасности жизнедеятельности, экологии и валеологии. 2010. № 3. С. 39–41.
- Илькун Г. М. Загрязнители атмосферы и растения. Киев: Наук. думка, 1978. 247 с.
- Кабанова С. А., Данченко А. М., Мясников А. Г. Влияние эколого-географических условий на биологические свойства семян и семянцев березы повислой и березы пушистой // Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири: мат-лы VII Междунар. науч. интернет-конф., январь 2015 г., Томск. Вып. 7. Томск: Изд. дом Томск. гос. ун-та, 2015. С. 78–87.
- Каледа В. М. Биология плодоношения березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в лесостепных районах Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Красноярск: Институт леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1985. 20 с.
- Катютин П. Н. Структура популяций древесных растений в естественных и антропогенно нарушенных еловых лесах Кольского полуострова: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05; 03.00.16. СПб.: Ботан. ин-т им. В. Л. Комаров РАН, 2005. 26 с.
- Коновалов В. Ф. Береза повислая на Южном Урале: структура популяций, селекция и воспроизводство: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.01. Йошкар-Ола: Марийск. гос. техн. ун-т, 2003. 39 с.
- Кузьмичев В. В. Оценка антропогенного воздействия на лесные экосистемы // Лесоведение. 1985. № 6. С. 3–11.
- Кулагин Ю. З. Экология березы бородавчатой и березы пушистой в связи с особенностями их водного режима // Экология и физиология древесных растений Урала. Вопросы развития лесного хозяйства на Урале. III / Отв. ред. проф., д-р биол. наук Б. П. Колесников, проф., д-р биол. наук Л. И. Сергеев. АН СССР. Уральский филиал. Тр. Ин-та биол. Вып. 35. Свердловск: РИСО Урал. филиал АН СССР, 1963. С. 7–45.
- Кулагин Ю. З. Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974. 126 с.
- Кулагин А. А., Шагиева Ю. А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. М.: Наука, 2005. 190 с.
- Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / Под ред. В. А. Алексеева. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. 200 с.
- Лукина Ю. М., Василевская Н. В. Влияние аэротехногенного загрязнения на репродуктивный потенциал *Betula czerepanovii* Orlova // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: мат-лы III Всерос. науч. конф., 27 января – 01 февраля 2008 г., Йошкар-Ола. Йошкар-Ола; Пушино: Марийск. гос. ун-т, 2008. С. 261–262.
- Махнев А. К. Внутривидовая изменчивость и популяционная структура берез секции *Albae* и *Nanae*. М.: Наука, 1987. 129 с.
- Меницков С. Л., Ившин А. П. Закономерности трансформации предтундровых и таежных лесов в усло-

- виях аэротехногенного загрязнения. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 294 с.
- Михайлова Т. А., Бережная Н. С., Игнатъева О. В. Элементный состав хвои и морфофизиологические параметры сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения. Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2006. 134 с.
- Мухортов Д. И., Чузаева А. В., Чузаева Н. В. Изменчивость полнозернистости семян березы повислой в условиях свежей субори учебно-опытного лесхоза (филиала) ФГБОУ ВО «ПГТУ» // Молодой ученый. 2018. № 4. С. 57–61.
- Приймак П. Г. Морфологическая изменчивость берез в условиях техногенного загрязнения на Кольском полуострове: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16; 03.00.05. Петрозаводск: Петрозаводск. гос. ун-т, 2005. 20 с.
- Скрипальщикова Л. Н., Пономарева Т. В., Бажина Е. В., Барченков А. П., Белянин А. В. Техногенные нагрузки на березняки Красноярской лесостепи // Сиб. лесн. журн. 2017. № 6. С. 130–135.
- Солнцева М. П., Глазунова К. П. Влияние промышленного и транспортного загрязнения среды на репродукцию семенных растений // Журн. общ. биол. 2010. Т. 71. № 2. С. 163–175.
- Спицына Н. Т., Скрипальщикова Л. Н. Фитомасса и пылеаккумулирующие свойства березовых лесов в условиях открытых горных разработок // Экология. 1991. № 6. С. 17–20.
- Третьякова И. Н., Бажина Е. В. Семенная продуктивность макростробилов и качество семян у пихты сибирской в нарушенных лесных экосистемах гор Южной Сибири // Экология. 1996. № 6. С. 430–435.
- Трешоу М. Диагностика влияния загрязнения воздуха и сходство симптомов // Загрязнение воздуха и жизнь растений. Пер. с англ. / Под ред. М. Трешоу. Л.: Гидрометеиздат, 1988. С. 126–144.
- Трубина М. Р. Воздействие температуры и фторидов на рост и развитие проростков *Crepis tectorium* L. из популяций загрязненных и незагрязненных местообитаний // Сиб. экол. журн. 2014. Т. 21. № 1. С. 133–144.
- Флора Сибири. Т. 5. Salicaceae – Amaranthaceae / М. Н. Ломоносова, Н. М. Большаков, И. М. Красноборов, Л. И. Кашина, Н. Н. Турицина, Д. В. Гельман, М. А. Шемберг / Под ред. д-ра биол. наук, проф. И. М. Красноборова, д-ра биол. наук, проф. Л. И. Малышева. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. 312 с.
- Шемберг М. А. Березы Сибири и Дальнего Восток (систематика, изменчивость, естественная гибридизация, интродукция): автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.05. Новосибирск: ЦСБС СО РАН, 1993. 33 с.
- Шибистова О. Б., Гурс Г. И. Влияние выбросов Назаровской ГРЭС на морфологию и содержание макроэлементов в листьях березы повислой // Экологические основы охраны природы Сибири. Красноярск: КГУ, 1989. С. 176–181.
- Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска / Л. Н. Скрипальщикова, А. И. Татаринцев, О. Н. Зубарева, В. Д. Перевозникова, В. В. Стасова, Н. В. Грешилова / Отв. ред. д-р биол. наук, проф. Л. И. Милютин. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2009. 179 с.
- Air pollution and plant life / J. N. B. Bell, M. Treshow (Eds.). Second ed. Chichester: John Wiley, 2002. 465 p.
- de Vries W., Dobbertin M. H., Solberg S., Dobben H. F. van, Schaub M. Impacts of acid deposition, ozone exposure and weather conditions on forest ecosystems in Europe: an overview // Plant and Soil. 2014. V. 380. Iss. 1–2. P. 1–45.
- Facteau T. J., Rowe K. E. Response of sweet cherry and apricot pollen tube growth to high levels of sulfur dioxide // J. Amer. Soc. Hort. Sci. 1981. V. 106. P. 77–79.
- James G. I., Courtin G. M. Stand structure and growth form of the birch transition community in an industrially damaged ecosystem, Sudbury, Ontario // Can. J. For. Res. 1985. V. 15. N. 5. P. 809–817.
- Masaru N., Katsuhisa F., Sankichi T., Yutaka W. Effects of inorganic components in acid rain on tube elongation of *Camelia* pollen // Environ. Pollut. Ser. A, Ecol. & Biol. 1980. V. 21. Iss. 1. P. 51–57.
- Plant ecology, herbivory, and human impact in Nordic mountain birch forests / F. E. Wielgolaski (Ed.); P. S. Karlsson, S. Neuvonen, D. Thannheiser (Ed. Board). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. 365 p.
- Purvis O. W., Aminov P. G., Dolgoplova A., Mikhailova I. N., Udachin V., Williamson B. J. Lichens on *Betula* in the Ural Mountains; relationships with bark acidity and element concentrations as indicators of geology and anthropogenic influences // Brit. Lichen Soc. Bull. 2015. V. 117. P. 15–28.
- Trubina M. R. Effect of temperature and fluorides on growth and development of *Crepis tectorum* L. seedlings from populations of polluted and nonpolluted habitats // Contemp. Probl. Ecol. 2014. V. 7. Iss. 1. P. 104–113 (Original Rus. Text © M. R. Trubina, 2014, Publ. in Sibirskii Ekologicheskii Zhurnal. 2014. N. 1. P. 133–145).
- Vasil'ev A. G., Vasil'eva I. A., Marin Yu. F. Phenogenetic monitoring of the weeping birch (*Betula pendula* Roth.) in the Middle Urals: testing a new method for assessing developmental instability in higher plants // Rus. J. Ecol. 2008. V. 39. Iss. 7. P. 483–489.

FRUITING SPECIFICS OF DROOPING BIRCH IN THE KRASNOYARSK FOREST-STEPPE

E. V. Bazhina, L. N. Skripal'shchikova, A. P. Barchenkov

*Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation*

E-mail: genetics@ksc.krasn.ru, lara@ksc.krasn.ru, alexbarchenkov@mail.ru

Morphometric quantitative (length and width of female catkins, length and width of birch-capsules) and functional parameters (germination and germination power of birch-capsules, length of shoots) of the female reproductive sphere of drooping birch *Betula pendula* Roth. trees growing in the zone of technogenic emissions' impact in the city of Krasnoyarsk have been studied. The studies were carried out on permanent sample plots established in birch stands growing in the southeastern, northern and northeastern environments of the city of Krasnoyarsk. Reproductive processes of drooping birch in the Krasnoyarsk forest-steppe were studied for the first time. The studies have shown that two-year periodicity of fruiting is characteristic of drooping birch trees of the Krasnoyarsk forest-steppe. The sizes of female catkins and birch-capsules vary depending on the genotypic characteristics of trees, the conditions of growth of the tree stand, also in different years of studies. With an increase in the degree of technogenic load, birch trees showed certain signs of a decrease in reproductive activity (a decrease in the morphometric parameters of female catkins and birch-capsules), as well as qualitative indicators (germination and germination power) of birch-capsules. It was revealed that the length of female catkins and the width of birch-capsules are negatively correlated with the content of fluorine in the foliage. The regression equations were calculated within the range of parameters: $y = -0.0489x + 2.8127$ и $y = -0.0346x + 1.7732$. The quality characteristics of birch-capsules (germination and germination power) were negatively correlated with the amount of settled dust on the lamines, as well as with the fluorine content in the leaf mass. At the same time, the maximum quality indicators were characterized by fruits harvested in background conditions. Functional signs of the female reproductive sphere of drooping birch are the diagnostic criteria for assessing the condition of trees, and can also be a direct indicator of the environmental conditions of growth.

Keywords: *mixed herbaceous birch stands, female reproductive structures, catkins, birch-capsules, technogenic dust, gross fluorine.*

How to cite: *Bazhina E. V., Skripal'shchikova L. N., Barchenkov A. P. Fruiting specifics of drooping birch in the Krasnoyarsk forest-steppe // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2018. N. 6: 112–120 (in Russian with English abstract). DOI: 10.15372/SJFS20180610*