

УДК 630\*1

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-6-5-12

## СОДЕРЖАНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЛИСТЯХ БЕРЕЗЫ (*BETULA PENDULA* ROTH.) РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ

А.В. Волова, Е.Н. Наквасина

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова» (САФУ), 163002, Россия, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17

a.v.nekrasova@narfu.ru

Проведено сравнение содержания химических элементов, относящихся к группам макро- и микроэлементов, в листьях разных форм березы повислой, произрастающих на территориях с различным уровнем загрязнения почв, в условиях г. Архангельска. Выявлены деревья каждой изучаемой формы — гладкокорой, ромбовидно-трещиноватой и грубокорой, которые подбирали исходя из описаний А.С. Яблокова. Заложены две пробные площади, находящиеся в одинаковых условиях освещения, почва на которых — урбанозем супесчаный. Показано, что формы березы по степени выраженности коры отличаются определенной дифференциацией по накоплению макро- и микроэлементов в листьях. В частности ромбовидно-трещиноватая форма — отличается и большей стабильностью в накоплении отдельных макроэлементов в различных по загрязненности условиях местопроизрастания, к тому же реагирует на загрязнение меньше — содержание в листьях микроэлементов увеличивается в 1,5 раза. Установлен приоритет по накоплению микроэлементов для гладкокорой формы березы повислой, которая характеризуется усилением потребления микроэлементов в 3 раза. У грубокорой формы березы практически не изменяется метаболизм потребления микроэлементов в листьях.

**Ключевые слова:** береза повислая, формы коры, макроэлементы, микроэлементы, листья

**Ссылка для цитирования:** Волова А.В., Наквасина Е.Н. Содержание макро- и микроэлементов в листьях березы (*Betula pendula* Roth.) различных форм // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 6. С. 5–12. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-6-5-12

Древесная растительность способна осажждать загрязняющие вещества, поглощать их из воздуха и реагировать на недостаток или избыток элементов минерального питания в окружающей среде. В условиях техногенного загрязнения наблюдается изменение в поглощении элементов питания древесными растениями, отражающееся на химическом составе ассимилирующих органов [1, 2]. Листовая пластинка — основной орган, чутко реагирующий патологическими изменениями на токсические вещества в окружающей среде [3, 4].

Химические элементы, поглощаемые растениями из почвы в разных количествах, имеют вполне определенное биохимическое и физиологическое значение и отвечают за синтез тех или иных веществ в растительном организме [1, 5–7].

Известно, что береза повислая лучше приспосабливается к неблагоприятным условиям урбосреды, и особенно к загрязнению, по сравнению с другими древесными породами [8], имеет особенности в потреблении химических элементов. В частности, листья березы интенсивнее хвои или ели сосны аккумулируют медь, никель и марганец [1, 5]. Береза повислая — пионер в восстановлении растительности, в том числе на загрязненных участках [9]. Предлагается использовать листья березы в качестве биоиндикатора по цинку [10], высокое накопление которого зафиксировано при аэротехногенном загрязнении [4].

Установлена связь между наличием тяжелых металлов в почве и их содержанием в листьях

березы [4, 11], в хвое ели или сосны и коре других деревьев [12, 13]. В связи с этим возникла необходимость рассмотрения листовой аккумуляции химических элементов в сочетании с их содержанием в почве в местах произрастания тех или иных видов древесной растительности.

В ходе исследования проводилось сравнение различных видов деревьев по потреблению химических элементов и отношению к воздействию реагентов в пределах рода. Существенные различия установлены между популяциями, семьями и клонами одного вида [14, 15]. Что касается березы повислой, то изучение особенностей потребления химических элементов ее различными формами и их отбор для использования, например, в озеленительных посадках городской среды представляет особый интерес.

Основным формообразующим признаком у березы повислой является соотношение трещиноватой коры различных конфигурации и гладкой бересты [16]. Классическими считаются формы, выделенные А.С. Яблоковым: ромбовидно-трещиноватая, гладкокорая и грубокорая [17].

### Цель работы

Целью исследования является сравнение содержания химических элементов, относящихся к макро- и микроэлементов, в листьях разных форм березы повислой, произрастающих в г. Архангельске на территориях с различным уровнем загрязнения почв.

## Объекты и методика исследования

Исследования проводились в 2018 г. на территории г. Архангельска. Были заложены две пробные площади (ПП), находящиеся в одинаковых условиях освещения, почва — урбанозем супесчаный. Растительные особи березы в посадках близки по возрасту (50...80 лет), имеют сходные таксационные параметры (диаметр ствола 9,0...14,5 см, высота 26,0...31,6 м). Объекты произрастают на почвах различной загрязненности, которая связана с аэротехногенными выбросами от имеющейся транспортной нагрузки. ПП-1 расположена в роще на ул. Воронина, в отдалении от транспортных потоков, ПП-2 заложена на аллее вдоль ул. Суворова, с высокой транспортной нагрузкой. По данным кафедры химии и химической экологии САФУ за 2011–2017 гг., количество машин в транспортном потоке составляло от 32,7 до 76,3 тыс. ед./сут.).

Т а б л и ц а 1

### Содержание химических элементов в почвенных образцах, мг/кг

The content of chemical elements in soil samples, mg/kg

Химический элемент	ПП-1	ПП-2
Na	7730	9680
Mg	5360	8400
Al	28400	36500
Si	264000	225000
Ca	9540	16300
Ti	1380	2110
V	60	70
Cr	30	50
Mn	530	560
Fe	13400	19500
Co	10	10
Cu	220	760
Zn	90	130
Sr	140	180
Zr	100	100
Ba	370	320
Pb	20	30

Для сравнения степени загрязнения у почвенных образцов (табл. 1) определен коэффициент Саета по формуле

$$Z_c = \Sigma K_c - (n - 1),$$

где  $K_c$  — коэффициент концентрации химического элемента;  
 $n$  — число анализируемых элементов-загрязнителей [18, 19].

Согласно оценочной шкале, ПП-1 характеризуется допустимой (15,8), ПП-2 — умеренно опасной степенью загрязненности (25,95).

На ПП-1 и ПП-2 пробных площадях были выявлены и замаркированы по 20 деревьев каждой формы, определенной по степени выраженности коры — гладкокорой, ромбовидно-трещиноватой и грубокорой. Для проведения эксперимента использовались листья методом сплошной выборки с побегов, расположенных в нижней трети части кроны.

Образцы проб почвы были подвергнуты анализу на энергодисперсионном спектрометре EDX-8000 согласно методикам М-02-0203-09 и М-02-0604-2007. Содержание макроэлементов ( $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $H$ ,  $C$ ,  $N$ ,  $MgO$ ,  $SO_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $P_2O_5$ ) и микроэлементов ( $MnO$ ,  $SiO_2$ ,  $Na_2O$ ,  $ZnO$ ,  $CuO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $NiO$ ,  $Cl$ ,  $SrO$ ,  $TiO_2$ ,  $WO_3$ ,  $BaO$ ,  $Co_2O_3$ ) в листьях древесной породы определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа на волнодисперсионном спектрометре XRF-1800. Содержание водорода, азота и углерода определили заранее на элементном анализаторе EA-3000 и использовали при анализе как фиксированное значение.

## Результаты и обсуждение

Исходя из полученных данных составили ряды содержания макроэлементов для каждой формы березы на двух пробных площадях (табл. 2).

Как видно из табл. 2, ряды потребления макроэлементов в разных формах березы повислой достаточно синхронны, коэффициент корреляции содержания макроэлементов в листьях различных форм березы составляет не меньше 0,99. Зависимость потребления не изменяется в связи с аэротехногенным загрязнением почв. Среди химических элементов наибольшего потребления характерно большее накопление водорода по сравнению с оксидом кальция у грубокорой формы березы. Гладкокорая и ромбовидно-трещиноватая формы близки по соотношению потребления макроэлементов.

По содержанию макроэлементов в листьях различных форм березы прослеживаются количественные изменения (табл. 3).

По сумме макроэлементов в листьях берез на условно чистых местопроизрастаниях (ПП-1), наибольшим потреблением отличается грубокорая форма, далее следует гладкокорая и затем ромбовидно-трещиноватая. В условиях значительного аэротехногенного загрязнения ряд распределения форм изменяется, максимум накопления макроэлементов, отмечается у ромбовидно-трещиноватой формы, минимум — у гладкокорой, грубокорая — занимает промежуточное положение.

Т а б л и ц а 2

**Ряды макроэлементов (в пересчете на оксиды), в листьях березы повислой различных форм по степени выраженности коры**

Rows of macronutrients (in terms of oxides) in the birch leaves of various types depending on the bark degree

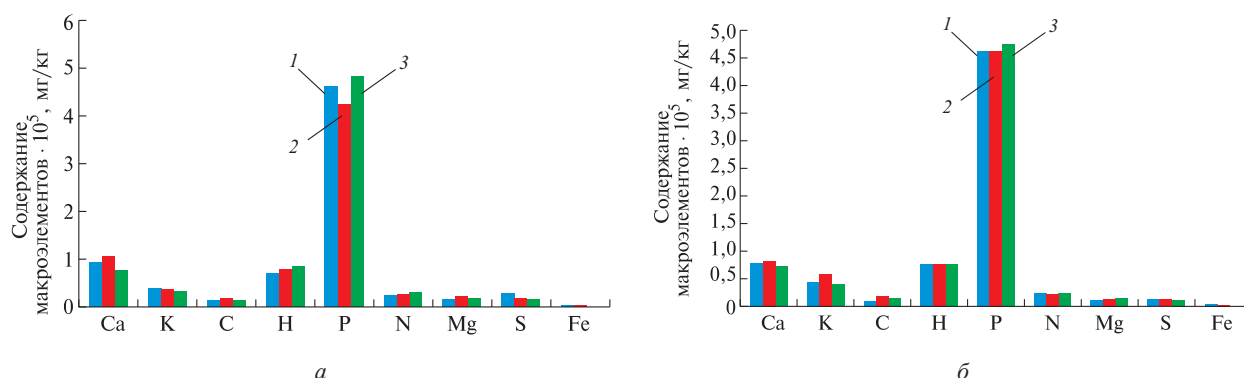
Форма березы повислой	ПП-1	Почва	ПП-2	Почва
Гладкокорая	C > CaO > H > K <sub>2</sub> O > > SO <sub>3</sub> > N > MgO > > P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> > Fe <sub>2</sub> O	Si > Al > Fe > Ca > Na > > Mg > Ti > Mn > Ba > > Cu > Sr > Zr > Zn > > V > Cr > Pb > Co	C > CaO = H > K <sub>2</sub> O > > N > MgO > SO <sub>3</sub> > > P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> > Fe <sub>2</sub> O	Si > Al > Fe > Ca > Na > > Mg > Ti > Cu > Mn > > Ba > Sr > Zn > Zr > > V > Cr > Pb > Co
Ромбовидно-трещиноватая	C > CaO > H > K <sub>2</sub> O > > N > MgO > SO <sub>3</sub> > > P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> > Fe <sub>2</sub> O		C > CaO > H > K <sub>2</sub> O > > N > P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> > MgO > > SO <sub>3</sub> > Fe <sub>2</sub> O	
Грубокорая	C > H > CaO > K <sub>2</sub> O > > N > MgO > SO <sub>3</sub> > > P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> > Fe <sub>2</sub> O		C > H > CaO > K <sub>2</sub> O > > N > P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> > MgO > > SO <sub>3</sub> > Fe <sub>2</sub> O	

Т а б л и ц а 3

**Содержание макроэлементов (в пересчете на оксиды) в листьях березы повислой различных форм, мг/кг**

The content of macronutrients (in terms of oxides) in birch leaves of various types, mg/kg

Участок	Форма березы повислой	CaO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H	C	N	MgO	SO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Σ
ПП-1	Гладкокорая	93200	38300	14300	71400	464000	23200	16900	27500	1980	750780
	Ромбовидно-трещиноватая	106000	36100	17400	78500	423000	27100	20800	18600	2640	730140
	Грубокорая	77700	32400	12500	84100	483000	29700	18800	16800	1730	756730
ПП-2	Гладкокорая	80000	44700	10600	80000	462000	25600	13600	13500	5530	735530
	Ромбовидно-трещиноватая	83900	58300	18800	77400	461000	24800	15200	13100	4870	757370
	Грубокорая	74500	40400	16800	80300	475000	25500	16200	11700	1600	742000



**Рис. 1.** Содержание макроэлементов в листьях березы повислой различных форм в условно чистом ПП-1 (а) и загрязненном ПП-2 (б) местопроизрастаниях: 1 — гладкокорая; 2 — ромбовидно-трещиноватая; 3 — грубокорая

**Fig. 1.** The content of macroelements in birch leaves of various forms in conditionally clean PP-1 (a) and contaminated with PP-2 (б) growing sites: 1 — smooth bark; 2 — rhomboid-fissured; 3 — coarse bark

Деревья березы с грубой формой коры потребляют оксиды калия, кальция, железа в наименьшем количестве, вне зависимости от условий местопроизрастания (рис. 1). В то же время

у данной формы в условиях, приближенных к естественным (ПП-1) выше всего потребление водорода (84 100 мг/кг), углерода (483 000 и 475 000) и азота (29 700 мг/кг).

Т а б л и ц а 4

**Ряды микроэлементов (в пересчете на оксиды) в листьях березы повислой  
различных форм по степени выраженности коры**

Rows of trace elements (in terms of oxides) in birch leaves of various types according to the bark degree

Форма березы повислой	ПП-1	Почва	ПП-2	Почва
Гладкокорая	SiO <sub>2</sub> > ZnO > MnO > > Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > BaO > Na <sub>2</sub> O > > SrO > Cl > TiO <sub>2</sub> > NiO > > CuO > WO <sub>3</sub> > Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		SiO <sub>2</sub> > Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > Cl > ZnO > > MnO > WO <sub>3</sub> > Na <sub>2</sub> O > > BaO > TiO <sub>2</sub> > SrO > > NiO > CuO > Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Ромбовидно-трещиноватая	SiO <sub>2</sub> > ZnO > Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > > MnO > BaO > WO <sub>3</sub> > > Na <sub>2</sub> O > Cl > SrO > > Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > TiO <sub>2</sub> > CuO > NiO	Si > Al > Fe > Ca > > Na > Mg > Ti > Mn > > Ba > Cu > Sr > Zr > > Zn > V > Cr > Pb > Co	SiO <sub>2</sub> > Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > ZnO > Cl > > MnO > BaO > Na <sub>2</sub> O > > TiO <sub>2</sub> > WO <sub>3</sub> > SrO > > NiO > CuO > Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Si > Al > Fe > Ca > Na > > Mg > Ti > Cu > Mn > > Ba > Sr > Zn > Zr > V > > Cr > Pb > Co
Грубокорая	SiO <sub>2</sub> > ZnO > MnO > > Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > Cl > Na <sub>2</sub> O > > BaO > SrO > TiO <sub>2</sub> > NiO > > CuO > WO <sub>3</sub> > Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		SiO <sub>2</sub> > MnO > ZnO > > Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > BaO > Cl > > SrO > Na <sub>2</sub> O > WO <sub>3</sub> > > NiO > CuO > TiO <sub>2</sub> > Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	

Т а б л и ц а 5

**Содержание микроэлементов (в пересчете на оксиды) в листьях  
березы повислой различных форм, мг/кг**

The content of micronutrients (in terms of oxides) in Common Birch leaves of different forms, mg / kg

Уча-сток	Форма березы повислой	MnO	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	ZnO	CuO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO	Cl	SrO	TiO <sub>2</sub>	WO <sub>3</sub>	BaO	Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Σ
ПП-1	Гладкокорая	1460	5760	483	2640	109	1010	111	176	225	129	49	541	0	12693
	Ромбовидно-трещиноватая	1010	7510	546	4140	115	1340	108	464	434	160	820	953	184	17784
	Грубокорая	1640	6800	532	2960	87	1210	93	838	267	132	11	406	7	14983
ПП-2	Гладкокорая	1010	23100	915	2010	83	4440	84	3940	225	505	930	665	70	37977
	Ромбовидно-трещиноватая	962	16300	773	2660	86	3280	92	1190	219	395	235	820	19	27031
	Грубокорая	1790	6310	277	1740	89	1070	107	647	298	83	123	929	12	13475

Гладкокорая форма березы в условиях повышенного азротехногенного загрязнения (ПП-2) накапливает наименьшее количество оксидов фосфора — 10 600 и магния — 13 600 мг/кг. Эта форма отмечается большими различиями в потреблении одного и того же элемента, в зависимости от условий местопроизрастания: потребление серы (в пересчете на SO<sub>3</sub>) в относительно чистых условиях (ПП-1) больше в 2 раза — 27 500, чем в условиях повышенного загрязнения почв (ПП-2) — 13 500 мг/кг, аналогично потребление железа (в пересчете на Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) — 1980 и 5530 мг/кг соответственно, на ПП-1 и ПП-2.

У березы ромбовидно-трещиноватой формы определено максимальное потребление калия (в пересчете на K<sub>2</sub>O) в условиях загрязнения — 58 300 мг/кг (ПП-2). Кроме того, потребление углерода сильно различается, в зависимости от условий местопроизрастания — 423 000 и 461 000 мг/кг на ПП-1 и ПП-2 соответственно,

в отличие от гладкокорой формы, потребление углерода у которой в разных условиях практически не изменяется — 464 000 и 462 000 мг/кг соответственно на ПП-1 и ПП-2.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что характер потребления макроэлементов березами разных форм по трещиноватости коры достаточно синхронен в различных условиях загрязнения. Условия местопроизрастаний, связанные с загрязнением почв, в листьях березы изменяют количественный состав макроэлементов. Наиболее стабильна в потреблении отдельных макроэлементов ромбовидно-трещиноватая форма деревьев березы, тогда как гладкокорая и грубокорая формы, в большинстве случаев, зависят от условий местопроизрастания.

Сравнили особенности потребления микроэлементов листьями березы различных форм в тех же условиях местопроизрастания. По полученным результатам составлены ряды микроэлементов (табл. 4).

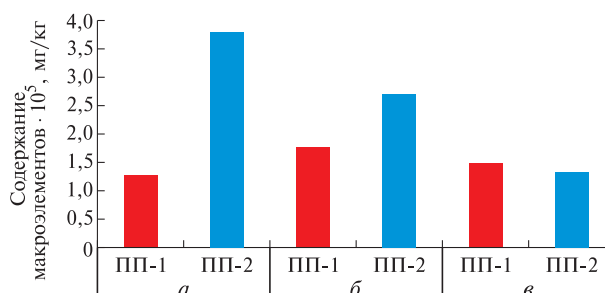
Исходя из табл. 4 ряды потребления микроэлементов в разных формах березы повислой имеют отличия. Коэффициент корреляции между содержанием химических элементов в листьях разных форм ниже, чем макроэлементов, и составляет 0,89–0,99 при  $t_r$  от 13,5 до 157. Из микроэлементов-загрязнителей для всех форм березы характерно приоритетное накопление в листьях цинка и марганца, хотя их содержание в почвах заметно ниже других микроэлементов. Подобную особенность березы зафиксировали другие исследователи [4, 10]. Как приоритетный можно отметить алюминий, найденный в больших количествах в почвах изучаемых участков. По мнению М. Frankowski [13], потребление алюминия листьями березы не зависит от загрязненности почв.

В почвах изучаемых условий местопроизрастания березы ряды распределения микроэлементов достаточно схожи. Коэффициенты корреляции между содержанием микроэлементов в почве и различными формами березы в условно чистом участке произрастания (ПП-1) составляют 0,86–0,89 при  $t_r$  от 10,4 до 13,5. Растения накапливают микроэлементы в необходимых им количествах для поддержания своей жизнедеятельности. В условиях повышенного загрязнения, где абсолютное содержание микроэлементов в почве выше, буферная роль корней снижается и накопление отдельных химических элементов в листьях возрастает, коэффициент корреляции повышается до 0,93–0,99 при  $t_r$  от 21,7 до 157,2.

В то же время по содержанию микроэлементов в листьях различных форм березы прослеживаются количественные изменения (табл. 5).

По сумме микроэлементов в листьях березы в условно чистых местопроизрастаниях (ПП-1) наибольшим их потреблением отличается ромбовидно-трещиноватая форма березы, далее следует грубокорая и гладкокорая формы. В условиях значительного аэротехногенного загрязнения ряд распределения форм по суммарному накоплению микроэлементов изменяется, максимум накопления микроэлементов — у гладкокорой формы, минимум — у грубокорой, ромбовидно-трещиноватая — занимает промежуточное положение. Кроме того, из рис. 2 видно, что потребление химических элементов в различных условиях местопроизрастания у грубокорой формы изменяется незначительно, в то время как у гладкокорой формы возрастает более чем в 2 раза. Ромбовидно-трещиноватая форма также занимает промежуточное положение — потребление химических элементов данной формой изменяется в связи со сменой условий загрязнения почв.

У разных форм березы повислой, в зависимости от условий местопроизрастания, сильно изменяется потребление практически всех макро-



**Рис. 2.** Содержание микроэлементов, в листьях березы повислой различных форм по степени выраженности коры в пределах разных пробных площадей, мг/кг: а — гладкокорая; б — ромбовидно-трещиноватая; в — грубокорая

**Fig. 2.** The content of micronutrients in birch leaves of various forms according to the bark degree within different test areas, mg / kg: а — smooth bark; б — rhomboid-fissured; в — coarse bark

элементов (в пересчете на оксиды), кроме оксида марганца. Грубокорая форма потребляет больше всего марганца (MnO) вне зависимости от условий местопроизрастания. Ромбовидно-трещиноватая форма потребляет меньше всего, а гладкокорая форма занимает промежуточное положение.

Потребление цинка (ZnO) в условиях аэротехногенного загрязнения у всех форм снижается, а оксидов натрия, алюминия, хлора, титана (в пересчете на оксиды) снижается в условиях аэротехногенного загрязнения только у грубокорой формы березы. У ромбовидно-трещиноватой формы в условиях загрязненных почв происходит снижение потребления оксидов бария, кобальта, вольфрама, стронция. У гладкокорой формы в условиях повышенного загрязнения усиливается потребление оксидов кремния, вольфрама, алюминия и элемента хлора. Однако при увеличении потребления оксида стронция у грубокорой формы и понижении потребления у ромбовидно-трещиноватой гладкокорая форма отличается одинаковым его потреблением вне зависимости от условий местопроизрастания.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что каждая форма реагирует по-своему на аэротехногенное загрязнение. У грубокорой формы березы потребление микроэлементов в листьях снижается, в то время как у гладкокорой и ромбовидно-трещиноватой форм — возрастает, особенно заметно (в 3 раза) у березы с гладкой корой.

## Выводы

Формы березы по степени выраженности коры отличаются дифференцированным накоплением макро- и микроэлементов в листьях.

Соотношение потребления и закрепления в листовом аппарате макроэлементов достаточно устойчиво и не зависит от загрязненности почв.

Имеется заметная выраженность особенностей количественного потребления отдельных макроэлементов. В относительно чистых условиях местопроизрастания наибольшим потреблением макроэлементов отличается ромбовидно-трещиноватая форма березы. Однако в условиях аэротехногенного загрязнения она больше гладкокорой и грубокорой форм снижает потребление химических элементов из ряда макроэлементов. В этих условиях приоритет по накоплению макроэлементов имеет грубокорая форма березы, ромбовидно-трещиноватая — отличается большей стабильностью в накоплении отдельных макроэлементов в различных по загрязненности условиях местопроизрастания.

В условно чистых условиях местопроизрастания накопление микроэлементов в листьях разных форм березы различается незначительно, но все же больше (на 20 %) макроэлементов накапливает в листьях ромбовидно-трещиноватая форма березы. При произрастании в условиях повышенного загрязнения ряд распределения форм изменяется и проявляются их особенности накопления. Приоритет по накоплению микроэлементов имеет гладкокорая форма березы повислой, которая усиливает потребление микроэлементов в 3 раза. Ромбовидно-трещиноватая форма березы реагирует на загрязнение меньше — содержание в листьях увеличивается в 1,5 раза. Интересно то, что грубокорая форма березы практически не изменяет метаболизм потребления микроэлементов в листьях.

Полученные результаты свидетельствуют о приоритете использования различных форм березы в озеленительных посадках и технологиях ухода за территориями. При использовании в озеленительных посадках красивой гладкокорой формы березы возрастает возможность дополнительного загрязнения почв микроэлементами-загрязнителями с опавшей листвой. Это требует их тщательной уборки и вывоза из городских поселений. В местах повышенного аэротехногенного и почвенного загрязнения приоритет следует отдавать высаживанию грубокорой формы березы со сниженным накоплением микроэлементов в листьях.

*Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.*

## Список литературы

[1] Протасова Н.А., Беляев А.Б. Химические элементы в жизни растений // Соровский образовательный журнал, 2001. № 3. С. 25–32.

- [2] Бухарина И.Л., Двоглазова А.А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях. Ижевск: Удмуртский университет, 2010. 184 с.
- [3] Завьялов К.Е. Морфология и химический состав листьев опытных культур березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях магнетитового загрязнения // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2013. № 3(41). С. 230–232.
- [4] Kosiorek M, Modrzewska B, Wyszowski M. Levels of selected trace elements in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), silver birch (*Betula pendula* L.), and Norway maple (*Acer platanoides* L.) in an urbanized environment // Environ. Monit. Assess, 2016, no. 188(10), p. 598.
- [5] Диярова Э.Р., Гиниятуллин Р.Х., Кулагин А.А. Содержание металлов в древесных растениях, произрастающих на отвалах Учалинского горно-обогатительного комбината Республики Башкортостан // Вестник Оренбургского государственного университета, 2009. № 6. С. 118–120.
- [6] Гагарская Н.К., Чернова Е.Н. Экологический мониторинг элементного состава лесной растительности и морфофункционального состояния мелких млекопитающих в посттехногенных экосистемах // Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее. Горно-Алтайск: ГАСУ, 2010. С. 160–163.
- [7] Рождественская Т.А., Ельчинова О.А., Пузанов А.В. Элементный химический состав растений Горного Алтая и факторы, его определяющие // Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных территорий: настоящее, прошлое и будущее. Горно-Алтайск: ГАСУ, 2008. С. 110–114.
- [8] Петункина Л.О., Сарсацкая А.С. Береза повислая как индикатор качества городской среды // Вестник Кемеровского государственного университета, 2015. № 3(4). С. 68–71.
- [9] Franiel I. Development of *Betula pendula* seedlings growing on the «Silesia Steelworks» dumping grounds in Katowice // Acta Agrophys, 2011, no. 51, p. 51–57.
- [10] Zakrzewska M, Klimek B. Trace Element Concentrations in Tree Leaves and Lichen Collected Along a Metal Pollution Gradient Near Olkusz (Southern Poland) // Bull. Environ. Contam. Toxicol, 2017, no. 100(2), pp. 245–249.
- [11] Байкалова Т.В., Байкалов П.С., Коротченко И.С. Содержание тяжелых металлов в почвенном покрове, листьях березы под воздействием промышленности г. Красноярска // Вестник КрасГАУ, 2017. №5. С. 123–130.
- [12] Sawidis T., Breuste J., Mitrovic M., Pavlovic P., Tsigaridas K. Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities // Environmental Pollution, 2011, no. 159, pp. 3560–3570.
- [13] Frankowski M. Aluminum uptake and migration from the soil compartment into *Betula pendula* for two different environments: a polluted and environmentally protected area of Poland // Environ. Sci. Pollut. Res. Int., 2015, no. 23(2), pp. 1398–1407.
- [14] Kull O., Tulva I., Vapaavuori E. Influence of elevated CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> on *Betula pendula* Roth crown structure // Ann. Bot., 2003, no. 91(5), pp. 559–569.
- [15] Тараканов В.В., Милютин Л.И., Куценогий К.П., Ковальская Г.А., Игнатъев Л.А., Самсонова А.Е. Элементный состав хвои в разных клонах сосны обыкновенной // Лесоведение, 2007. № 1. С. 28–35.
- [16] Коновалов В.Ф., Янбаев Ю.А., Галеев Э.И., Дуношкин Е.В. Плюсовая селекция березы повислой в республике Башкортостан: итоги и перспективы развития // Аграрная Россия. Материалы Междунар. науч.-практ. конф.

- «Актуальные проблемы дендрэкологии и адаптации растений», посвященной 80-летию со дня рождения проф. Ю.З. Кулагина, 2009. № S2. С. 140–141.
- [17] Яблоков А.С. Селекция древесных пород. М.: Сельхозиздат, 1962. 487 с.
- [18] Попова Л.Ф. Химическое загрязнение урбоэкосистемы Архангельска. Архангельск: САФУ, 2014. 231 с.
- [19] Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник МГУ. Сер. 5. География, 2015. № 2. С. 7–17.

## Сведения об авторах

**Волова Алена Викторовна** — аспирант кафедры лесоводства и лесоустройства Высшей школы естественных наук и технологий Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, a.v.nekrasova@narfu.ru

**Наквасина Елена Николаевна** — д-р с.-х. наук, профессор кафедры лесоводства и лесоустройства Высшей школы естественных наук и технологий Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, Почетный работник ВПО РФ, e.nakvasina@narfu.ru

Поступила в редакцию 13.06.2019.

Принята к публикации 30.09.2019.

## MACRO AND MICRONUTRIENTS CONTENTS IN BIRCH LEAVES (*BETULA PENDULA* ROTH.) OF DIFFERENT FORM

A.V. Volova, E.N. Nakvasina

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

e.nakvasina@narfu.ru

In terms of man-made pollution, there are changes in the absorption of nutrients by woody plants, which affects the chemical composition of the assimilating organs. With regard to birch it is interesting to study the characteristics of chemical elements consumption of its various forms and their selection for use, for example, in planting urban environment. The main forming feature of the birch is the ratio of the trunks with the fractured bark of different configurations and sizes with smooth birch bark. We have compared the content of chemical elements belonging to the groups of macro-and microelements in the leaves of different forms of birch growing in areas with different levels of soil pollution. The study was conducted on the territory of the city of Arkhangelsk, where the trees of each studied form were identified, namely smooth-bark, diamond-fractured and rough-bark, were selected based on the descriptions by A.S. Yablokov. The 2 sample areas, which are in the same lighting conditions, have the soil of a sandy loam arabinose. The differences in the characteristics of the facilities were in soil contamination associated with aerotechnogenic emissions from the transport load, the first PP is located distantly from the traffic flows, the second PP is in place with a high transport load. The study showed that the forms of birch bark differ in the degree of severity of a certain differentiation in the accumulation of macro- and microelements in the leaves. Diamond-fractured form birch is different and more stable in the accumulation of certain macronutrients in different contamination conditions of the habitat. The priority for the accumulation of trace elements has a smooth form of birch, which increases the consumption of trace elements 3 times. Rhomboid-fractured form of birch reacts to pollution less, the content in the leaves increases by 1,5 times. The rough-edged form of birch practically does not change the metabolism of trace elements consumption in the leaves.

**Keywords:** birch bark shapes, elements, trace elements, leaves

**Suggested citation:** Volova A.V., Nakvasina E.N. *Soderzhanie makro- i mikroelementov v list'yakh berezy (Betula pendula Roth.) razlichnykh form* [Macro and micronutrients contents in birch leaves (*Betula pendula* Roth.) of different form]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 6, pp. 5–12.

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-6-5-12

## References

- [1] Protasova N.A., Belyaev A.B. *Khimicheskie elementy v zhizni rasteniy* [Chemical elements in plant life]. Sorovskiy obrazovatel'nyy zhurnal [Soros Educational Journal], 2001, no. 3, pp. 25–32.
- [2] Bukharina I.L., Dvoeglazova A.A. *Bioekologicheskie osobennosti travyanistykh i drevesnykh rasteniy v gorodskikh nasazhdeniyakh* [Bioecological features of herbaceous and woody plants in urban plantations]. Izhevsk: Udmurtskiy universitet [Udmurt State University], 2010, 184 p.
- [3] Zav'yalov K.E. *Morfologiya i khimicheskiy sostav list'ev opytnykh kul'tur berezy povisloy (Betula Pendula Roth) v usloviyakh magnezitovogo zagryazneniya* [The morphology and chemical composition of the leaves of the experimental cultures of silver birch (*Betula Pendula* Roth) in terms of the magnesite contamination]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Izvestia Orenburg State Agrarian University], 2013, no. 3(41), pp. 230–232.

- [4] Kosiorek M, Modrzewska B, Wyszowski M. Levels of selected trace elements in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), silver birch (*Betula pendula* L.), and Norway maple (*Acer platanoides* L.) in an urbanized environment. *Environ. Monit. Assess*, 2016, no. 188(10), p. 598.
- [5] Diyarova E.R., Giniyatullin R.Kh., Kulagin A.A. *Soderzhanie metallov v drevesnykh rasteniyakh, proizrastayushchikh na otvalakh Uchalinskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata Respubliki Bashkortostan* [The content of metals in wood plants growing on the dumps of the Uchalinsky mining and processing plant of the Republic of Bashkortostan]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Orenburg State University Bulletin], 2009, no. 6, pp. 118–120.
- [6] Gagarskaya N.K., Chernova E.N. *Ekologicheskiy monitoring elementnogo sostava lesnoy rastitel'nosti i morfofunktsional'nogo sostoyaniya melkikh mlekopitayushchikh v posttekhnogennykh ekosistemakh* [Ecological monitoring of elemental composition of forest vegetation and morphofunctional state of small mammals in post-technogenic ecosystems]. *Bioraznoobrazie, problemy ekologii Gornogo Altaya i sopredel'nykh regionov: nastoyashchee, proshloe, budushchee* [Biodiversity, problems of ecology of the Altai mountains and adjacent regions: present, past, future]. Gorno-Altaysk: GASU, 2010, pp. 160–163.
- [7] Rozhdestvenskaya T.A., El'chinina O.A., Puzanov A.V. *Elementnyy khimicheskiy sostav rasteniy Gornogo Altaya i faktory, ego opredelyayushchie* [Elemental chemical composition of plants of The Altai mountains and its determinants]. *Materialy mezhdunarodnoy konferentsii «Bioraznoobrazie, problemy ekologii Gornogo Altaya i sopredel'nykh territoriy: nastoyashchee, proshloe i budushchee»* [Processing of the International conference «Biodiversity, problems of ecology of the Altai mountains and adjacent regions: present, past, future»]. Gorno-Altaysk: GASU, 2008, pp. 110–114.
- [8] Petunkina L.O., Sarsatskaya A.S. *Bereza povislaya kak indikator kachestva gorodskoy sredy* [Birch hanging as an indicator of the quality of the urban environment]. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Kemerovo State University], 2015, no. 3(4), pp. 68–71.
- [9] Franiel I. Development of *Betula pendula* seedlings growing on the «Silesia Steelworks» dumping grounds in Katowice // *Acta Agrophys*, 2011, no. 51, p. 51–57.
- [10] Zakrzewska M, Klimek B. Trace Element Concentrations in Tree Leaves and Lichen Collected Along a Metal Pollution Gradient Near Olkusz (Southern Poland) // *Bull. Environ. Contam. Toxicol*, 2017, no. 100(2), pp. 245–249.
- [11] Baykalova T.V., Baykalov P.S., Korotchenko I.S. *Soderzhanie tyazhelykh metallov v pochvennom pokrove, list'yakh berezy pod vozdeystviem promyshlennosti g. Krasnoyarska* [The content of heavy metals in the soil, birch leaves under the influence of industry in Krasnoyarsk]. *Vestnik KrasGAU* [Krasnoyarsk State Agrarian University Bulletin], 2017, no. 5, pp. 123–130.
- [12] Sawidis T., Breuste J., Mitrovic M., Pavlovic P., Tsigaridas K. Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities // *Environmental Pollution*, 2011, no. 159, pp. 3560–3570.
- [13] Frankowski M. Aluminum uptake and migration from the soil compartment into *Betula pendula* for two different environments: a polluted and environmentally protected area of Poland // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2015, no. 23(2), pp. 1398–1407.
- [14] Kull O., Tulva I., Vapaavuori E. Influence of elevated CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> on *Betula pendula* Roth crown structure // *Ann. Bot.*, 2003, no. 91(5), pp. 559–569.
- [15] Tarakanov V.V., Milyutin L.I., Kutsenogiy K.P., Koval'skaya G.A., Ignat'ev L.A., Samsonova A.E. *Elementnyy sostav khvoi v raznykh klonakh sosny obyknovennoy* [Elemental composition of needles in different clones of Scots pine] *Lesovedenie* [Forestry], 2007, no. 1, pp. 28–35.
- [16] Konovalov V.F., Yanbaev Yu.A., Galeev E.I., Dunyushkim E.V. *Plyusovaya selektsiya berezy povisloy v respublike Bashkortostan: itogi i perspektivy razvitiya* [Positive selection of birch in the Republic of Bashkortostan: results and prospects]. *Agrarnaya Rossiya, spets. vypusk: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktual'nye problemy dendroekologii i adaptatsii rasteniy», posvyashchennoy 80-letiyu so dnya rozhdeniya professora Y.Z. Kulagina.* [Agriculture Russia, special edition: Processing of the International Scientific and Practical Conference «Actual problems of dendroecology and plant adaptation», dedicated to the 80<sup>th</sup> anniversary of the birth of Professor Y.Z. Kulagin], 2009, no. S2, pp. 140–141.
- [17] Yablokov A.S. *Selektsiya drevesnykh porod* [Selection of wood species]. Moscow: Sel'hozizdat, 1962, 487 p.
- [18] Popova L.F. *Khimicheskoe zagryaznenie urboekosistemy Arkhangel'ska* [Chemical pollution of the urban ecosystem of Arkhangel'sk]. Arkhangel'sk: NArFU 2014, 231 p.
- [19] Kasimov N.S., Vlasov D.V. *Klarki khimicheskikh elementov kak etalony sravneniya v ekogeokhimi* [Clarks of chemical elements as reference standards in ecogeochemistry]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5, Geografiya* [Moscow University Bulletin. Episode 5, Geography], 2015, no. 2, pp. 7–17.

## Authors' information

**Volova Alena Viktorovna** — Pg. Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, a.v.nekrasova@narfu.ru

**Nakvasina Elena Nikolaevna** — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, e.nakvasina@narfu.ru

Received 13.06.2019.

Accepted for publication 30.09.2019.