

## ВЛИЯНИЕ АЭРОТЕХНОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ МАГНЕЗИТОВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА НАДЗЕМНУЮ ФИТОМАССУ *BETULA PENDULA* ROTH В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ

К.Е. Завьялов<sup>✉</sup>, С.Л. Менщиков, П.Е. Мохначев, Н.А. Кузьмина

ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН», Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 марта, д. 202а

zavyalov.k@mail.ru

Приведены материалы изучения надземной фитомассы березы повислой (*Betula pendula* Roth) опытных культур импактной зоны магнетитового производства (Южный Урал, г. Сатка, Челябинской обл.). Исследованы два участка (созданы в 1983 г.) опытных культур одного возраста, произрастающих в 3 км от источника техногенного загрязнения магнетитового производства и различающихся по плодородию почвы. Рассчитана надземная фитомасса древостоя (по модельным деревьям). Установлено, что древостои на богатых почвах имеют более высокие показатели высоты, диаметра стволов и жизненного состояния. Проведен сравнительный анализ надземной фитомассы опытных культур при одинаковом уровне загрязнения, но произрастающих на почвах различного плодородия, который показал увеличение надземной фитомассы березы повислой на высокоплодородных почвах. Дана оценка действию почвенного фактора на способность березы повислой адаптироваться к техногенному загрязнению. Определено, что в условиях среднего уровня магнетитового загрязнения плодородие почвы имеет существенное значение для адаптации дерева.

**Ключевые слова:** береза повислая, техногенное загрязнение, надземная фитомасса

**Ссылка для цитирования:** Завьялов К.Е., Менщиков С.Л., Мохначев П.Е., Кузьмина Н.А. Влияние аэротехногенных выбросов магнетитового производства на надземную фитомассу *Betula pendula* Roth в зависимости от плодородия почвы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 104–111.

DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-104-111

Развитие и концентрация металлургического производства на Урале привели к прогрессирующему увеличению объема выбросов, загрязняющих атмосферный воздух. Большие площади лесных экосистем попали под влияние аэротехногенного загрязнения. Для решения сложившейся проблемы требуется стабильное управление биоресурсами и понимание механизмов стабилизации биосферы [1]. Особого внимания заслуживают адаптация древесных растений к техногенным загрязнениям в городских условиях [2–5] и особенности взаимовлияния загрязнений в системе почва — растение [6–8]. Есть мнение, что минеральное питание растений оказывает положительное влияние на их адаптацию к неблагоприятным факторам внешней среды [9, 1]. Одной из характеристик состояния и жизнедеятельности лесных насаждений являются запасы надземной фитомассы. Соотношение фракций фитомассы — также хороший показатель устойчивости и роста древостоя в условиях аэротехногенного загрязнения [10–13].

Изучение влияния магнетитового загрязнения на состояние и рост опытных культур проводилось в г. Сатка Челябинской обл. начиная с 1984 г. Многолетние исследования показали, что влияние выбросов магнетитового загрязнения проявляется в снижении роста и ухудшении состояния

как спелых естественных сосновых древостоев, так и опытных культур *Pinus sylvestris* L., *Larix sukaczewii* Dyl., *Betula Pendula* Roth [14, 15], в снижении надземной фитомассы *Betula pendula* Roth [16], в увеличении ксероморфности листьев и содержания магния в листьях [17], в слабом влиянии данного загрязнения на посевные качества семян *Pinus sylvestris* L. [18], в естественном возобновлении *Pinus sylvestris* L. [19] и в снижении радиального прироста *Pinus sylvestris* L. [20].

### Цель работы

Цель работы — сравнительный анализ надземной фитомассы березы повислой в культурах одного возраста при одинаковом уровне загрязнения, произрастающих на почвах различного плодородия, выявление действия почвенного фактора на способность березы повислой адаптироваться к техногенному (магнетитовому) загрязнению, проверка нулевой гипотезы о плодородии почв как значимого фактора для адаптации березы повислой к загрязнению.

### Объекты и методы исследования

Исследования надземной фитомассы опытных культур березы повислой *Betula pendula* Roth проводились на опытных участках, расположенных в 3 км от источника загрязнения на почвах различного плодородия (табл. 1). Культуры

Т а б л и ц а 1

## Характеристика почвенных условий опытных участков культур березы повислой

## Characteristics of soil conditions at European birch test plots

Номер опытного участка	Тип леса	Тип почвы	Характеристика почвы				
			рН водной вытяжки [23]	Гумус, % [24]	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг [24]	K <sub>2</sub> O, мг/кг [24]	Соотношение, Mg <sup>++</sup> /Ca <sup>++</sup> [23]
5	С. яг.	Горная серая лесная легкосуг- линистая неполноразвитая	8,5	3,1	56	110	2,7
6	С. ргр.	Дерново-луговая среднесуглинистая	8,3	9,5	70	170	0,9

созданы в 1983 г. Район исследований расположен в Уральской горной области и относится к Юрюзанско-Верхнеайскому округу Южно-Уральской провинции горных южнотаежных и смешанных лесов [21]. Здесь господствует континентальный климат с умеренно холодной зимой и теплым, иногда жарким, летом. Весна отличается резкими перепадами температур воздуха — от отрицательных к положительным. Осень довольно теплая. Начало осени отмечается, как правило, устойчивой ясной погодой. По данным метеостанции Златоуст (40 км от источника выбросов) [22], среднегодовая температура воздуха 0,70 °С, годовая сумма осадков 555 мм. Большая часть осадков приходится на летний период (около 45 % годовой суммы, максимум — в июле), тогда как зимой их количество резко уменьшается (26 % годовой суммы, минимум — в феврале).

Массу фракций надземной фитомассы древостоя рассчитывали по модельным деревьям, которые отбирали на основе комплексного метода Н.А. Бабича и М.Д. Мерзленко [25], с некоторыми изменениями, в пределах всего диапазона варьирования размеров в августе, т. е. после стабилизации влажности фракций. На каждом опытном участке было отобрано от 9 до 12 модельных деревьев — одно дерево вырубалось из средней ступени толщины. Остальные модели были взяты из разных ступеней толщины, по одному среднему для ступени. Обязательно отбирались деревья из низших и высших ступеней толщины.

Надземная фитомасса модельных деревьев измерялась непосредственным взвешиванием. Надземную фитомассу делили на следующие фракции: древесина ствола, кора ствола, ветви, листья и отмершие ветви. Фитомасса изучалась в сыром состоянии на основе анализа показателей связей М.Г. Семечкиной [13], которая доказала правомерность использования как свежесрубленной, так и абсолютно сухой фитомассы. На наш взгляд, данное обстоятельство свидетельствует о возможности получения достаточно надежных результатов при изучении фитомассы в сыром состоянии.

Для оценки фитомассы древостоя использовался регрессионный метод. При вычислении надземной фитомассы выравнивание фитомассы проводилось с помощью аллометрической (степенной) функции  $y = axb$ , где  $y$  — фитомасса, кг;  $x$  — диаметр на высоте груди, см;  $a$ ,  $b$  — коэффициенты.

## Результаты и обсуждение

Установлено, что древостои на богатых почвах имеют лучший рост (высоту, диаметр ствола) и жизненное состояние (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

## Показатели опытных культур березы повислой

## European birch test crops indicators

Номер опытного участка	Диаметр ствола (среднее значение), см	Высота (среднее значение), м	Индекс повреждения
5	4,5 ± 0,16	6,6 ± 0,47	2,05 ± 0,03
6	6,8 ± 0,33	9,7 ± 0,43	1,57 ± 0,11

*Примечание.* Индекс повреждения — показатель жизненного состояния древостоя, балл.

Анализ меры точности выравнивания фитомассы и тесноты связи, характеризующихся коэффициентом корреляции, свидетельствует о различии в тесноте связи при оценке фракций фитомассы (табл. 3).

Очень тесная связь определена у древесины ствола ( $r = 0,96$ ), у коры ствола ( $r = 0,93...0,95$ ), ствола ( $r = 0,96...0,97$ ) и у общей фитомассы ( $r = 0,96...0,997$ ).

При оценке кроновой массы наблюдается тесная связь (у фракции листьев  $r = 0,89...0,95$ , ветвей  $r = 0,90...0,92$ ). Связи достоверны на уровне значимости выше 95 % по критерию Фишера. Таким образом, степенная функция достаточно объективно описывает исследуемые нами связи и обеспечивает достаточно высокую точность при оценке фитомассы.

Т а б л и ц а 3

**Характеристика связи фракций надземной фитомассы с диаметрами стволов на опытных участках**

**Relationship of fractions of elevated phytomass with trunk diameters at test plots**

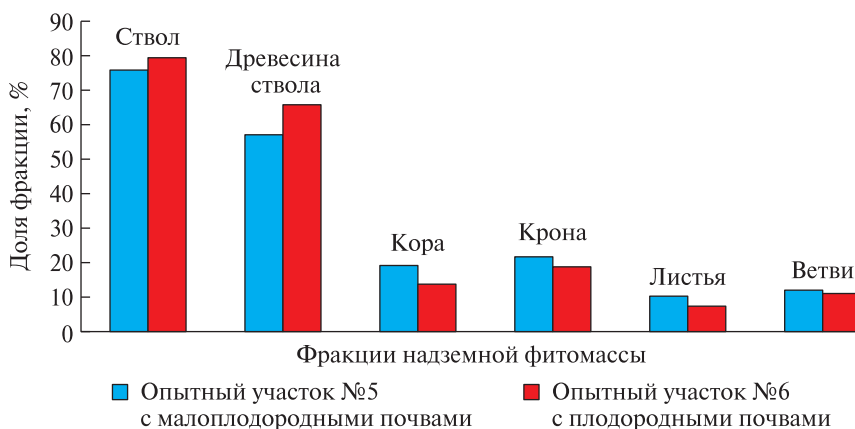
Номер опытного участка	Надземная фитомасса	Уравнение степенной функции	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации	Стандартная ошибка уравнения	Критерий Фишера (3,18)
5	Ствол	$y = 0,199052x^{2,217}$	0,96	91,99	0,23	114,78
	Древесина ствола	$y = 0,133369x^{2,28415}$	0,96	91,31	0,25	105,13
	Кора ствола	$y = 0,0690078x^{2,01725}$	0,93	92,74	0,20	127,79
	Крона	$y = 0,0476037x^{2,33709}$	0,90	88,39	0,30	76,12
	Листья	$y = 0,0352456x^{2,05835}$	0,95	90,10	0,24	91,03
	Ветви	$y = 0,0182224x^{2,52924}$	0,92	85,18	0,38	57,48
	Надземная фитомасса	$y = 0,25999x^{2,22479}$	0,96	91,82	0,24	112,27
6	Ствол	$y = 0,18926x^{2,36135}$	0,97	93,13	0,23	135,59
	Древесина ствола	$y = 0,124979x^{2,46299}$	0,96	92,89	0,25	130,61
	Кора ствола	$y = 0,0723796x^{2,00226}$	0,95	91,06	0,23	101,90
	Крона	$y = 0,0552946x^{2,25802}$	0,90	81,37	0,39	43,69
	Листья	$y = 0,0337666x^{2,06585}$	0,89	79,71	0,38	39,28
	Ветви	$y = 0,0253722x^{2,37317}$	0,90	80,47	0,42	41,22
	Надземная фитомасса	$y = 0,267378x^{2,31108}$	0,97	93,43	0,22	142,24

Т а б л и ц а 4

**Запасы надземной фитомассы березы повислой на опытных участках**

**Reserves of European birch crops elevated phytomass at test plots**

Номер опытного участка	Фракции фитомассы						Всего
	Ствол			Крона			
	всего	в том числе		всего	в том числе		
		древесина	кора		листья	ветви	
5	41,9	31,4	10,4	12,3	5,7	6,5	55,4
6	142,7	118,3	24,8	33,1	13,3	19,6	180,3



Доля фракций общей надземной фитомассы в зоне загрязнения при разном плодородии почв

The fraction of the total elevated phytomass in the pollution zone with different soil fertility

Уравнение степенной функции позволяет со значительной степенью вероятности находить значения фракций фитомассы по ступеням тол-

щины. Использование регрессионного анализа позволило нам выйти на фитомассу древостоя в целом.

Высокое плодородие почв на опытном участке № 6 с наиболее гумусированным и значительным по мощности аккумулятивным горизонтом положительно влияет на надземную фитомассу, снижая негативное влияние аэропромвыбросов магнетитового производства (табл. 4). Анализ надземной фитомассы на опытном участке № 6 с высокоплодородными почвами показывает большее снижения фитомассы древесины ствола (в 3,8 раза) и ветвей (в 3,0 раза), чем на опытном участке № 5. Масса листьев и коры снижается в меньшей степени — в 2,3 и 2,4 раза соответственно.

Установлено, что плодородие почв в условиях загрязнения влияет не только на абсолютные величины, но и на структуру надземной фитомассы (рисунок). На опытном участке № 6 (с плодородными почвами) повышается доля древесины ствола (на 14 %), а доля коры и листьев начинает уменьшаться (на 37 и 39 % соответственно) по сравнению с опытными участками № 5 (с малоплодородными почвами).

Масса ветвей в насаждениях, как отмечает М.Г. Семечкина [13], подвержена значительным колебаниям, что связано с широким диапазоном варьирования этого показателя и относительно низкой по сравнению с другими фракциями фитомассы точностью его определения. Анализ доли коры показывает тенденцию увеличения данного показателя с повышением степени загрязнения. Уменьшение доли ствола и повышение доли хвои сосны с ростом аэротехногенной нагрузки отмечено также в работах И.А. Юсупова и соавт. [26] и А.А. Мартынюка [27].

Достаточно широко освещена в литературе проблема миграции элементов в системе почва — растение при аэротехногенном загрязнении [28–34]. Описано изменение интенсивности биогеохимического круговорота и снижение нейтрализующей роли экосистемы по отношению к загрязняющим ингредиентам при повышении порога устойчивости [35, 36]. Исследования фитомассы на Урале в условиях техногенного загрязнения проводились в районе Ревдинско-Первоуральского промузла (Среднеуральский медеплавильный завод — СУМЗ) [26, 37], в районе Карабашского медеплавильного комбината (АО «Карабашмедь») [37]. Однако эффект плодородия почв для адаптации растений не проанализирован. Для использования разработанных моделей в условиях техногенного загрязнения необходима информация об особенностях влияния климатических и эдафических факторов на антропогенно нарушенные экосистемы [38]. Полученные и изложенные нами в настоящей работе результаты помогут в решении названной проблемы.

## Выводы

В результате исследований установлено, что на плодородных почвах (опытный участок № 6) в зоне среднего загрязнения все изученные таксационные показатели древостоя повышаются, по сравнению с опытными участками № 5 на малоплодородных почвах в той же зоне загрязнения. Повышение таксационных показателей деревьев неизбежно влечет за собой увеличение надземной фитомассы древостоев. Таким образом, сравнительный анализ надземной фитомассы опытных культур одного возраста и при одинаковом уровне загрязнения выбросами магнетитового производства, но произрастающих на почвах различного плодородия, позволил оценить действие почвенного фактора на способность березы повислой адаптироваться к техногенному загрязнению. В зоне среднего загрязнения плодородие почвы имеет существенное значение для адаптации дерева. Фитомасса опытных культур березы повислой, произрастающих на высокоплодородных почвах (опытный участок № 6) с наиболее гумусированным и значительным по мощности аккумулятивным горизонтом, наиболее активно повышается по древесине ствола и ветвей (в 3,8 и в 3,0 раза), в меньшей степени — по листьям и коре (в 2,3 и в 2,4 соответственно). В структуре надземной фитомассы происходят изменения и в зависимости от плодородия почв. У культур на высокоплодородных почвах достоверно уменьшается доля листвы и коры (на 37 и 39 % соответственно).


*Работа выполнена в рамках Государственного задания Ботанического сада УрО РАН.*

## Список литературы

- [1] Maiti R., Rodriguez H.G. Mystry of Coexistence and Adaptation of Trees in a Forest Ecosystem // *Forest Research*, 2015, no. 4, p. e120. DOI: 10.4172/2168-9776.1000e120
- [2] Бухарина И.Л., Двоеглазова А.А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях. Ижевск: Изд-во Удмуртского государственного университета, 2010. 184 с.
- [3] Луговская А.Ю., Храмова Е.П., Чанкина О.В. Влияние транспортно-промышленного загрязнения на морфометрические параметры и элементный состав *Potentilla fruticosa* // *Сибирский экологический журнал*, 2018. Т. 25, № 1. С. 111–121.
- [4] Dise N.B., Gundersen P. Forest Ecosystem Responses to Atmospheric Pollution: Linking Comparative With Experimental Studies // *Water, Air, & Soil Pollution: Focus*, 2004, no. 4(2), pp. 207–220. <https://doi.org/10.1023/B:WAFO.0000028355.20005.c5>
- [5] Mikhailova T.A., Afanasieva L.V., Kalugina O.V., Shergina O.V., Taranenko E.N. Changes in nutrition and pigment complex in pine (*Pinus sylvestris* L.) needles under technogenic pollution in Irkutsk region, Russia // *J. of Forest Research*, 2017, v. 22, no. 6, pp. 386–392. DOI: 10.1080/13416979.2017.1386020

- [6] Menon M., Hermle S., Günthardt-Goerg M.S., Schulin R. Effects of heavy metal soil pollution and acid rain on growth and water use efficiency of a young model forest ecosystem // *Plant and Soil*, 2007, v. 297, pp. 171–183. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9331-4>
- [7] Orozco-Aceves M., Standish R.J., Tibbett M. Soil conditioning and plant-soil feedbacks in a modified forest ecosystem are soil-context dependent // *Plant and Soil*, 2015, v. 390, pp. 183–194. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2390-z>
- [8] Bennett J.A., Maherali H., Reinhart K.O., Lekberg Y., Hart M.M., Klironomos J. Plant-soil feedbacks and mycorrhizal type influence temperate forest population dynamics // *Science*, 2017, v. 355, iss. 6321, pp. 181–184. DOI: 10.1126/science.aai8212
- [9] Соболева С.В., Есякова О.А., Воронин В.М. Оценка аэрогенного загрязнения с использованием сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) и ели сибирской (*Picea obovata*) // *Хвойные боральной зоны*, 2020. Т. 38. № 3–4. С. 115–122.
- [10] Горбатенко В.М. Структура фитомассы древесного яруса сосняков // *Изучение природы лесов Сибири*. Красноярск: [б. и.], 1972. С. 3–10.
- [11] Макаренко А.А. О свойствах рядов распределения деревьев в древостоях // *Лесоведение*, 1975. № 6. С. 42–60.
- [12] Рубцов В.И., Рубцов В.В. Биологическая продуктивность культур сосны при разной густоте посадки // *Лесоведение*, 1975. № 1. С. 28–36.
- [13] Семечкина М.Г. Структура фитомассы сосняков. Новосибирск: Наука, 1978. 65 с.
- [14] Завьялов К.Е., Менщиков С.Л. Опыт рекультивационных мероприятий по лесовосстановлению нарушенных земель саткинского промузла // *Экология и промышленность России*, 2016. Т. 20. № 12. С. 36–38. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-12-36-38>
- [15] Zavyalov K.E., Menshikov S.L., Mohnachev P.E., Kuzmina N., Potapenko A., Ayan S. Response of Scotch pine, Sukachyov's larch, and silver birch to magnesite dust in Satkinsky industrial hub // *Forestry Ideas*, 2018, t. 24, no. 1, pp. 23–36.
- [16] Завьялов К.Е., Менщиков С.Л. Надземная фитомасса опытных культур березы повислой в условиях загрязнения магнетитовой пылью // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 2010. № 4 (28). С. 27–30.
- [17] 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.
- [18] Мохначев П.Е., Махнева С.Г., Менщиков С.Л. Особенности репродукции сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) в условиях загрязнения магнетитовой пылью // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 2013. № 3 (41). С. 8–9.
- [19] Mohnachev P.E., Makhniova S.G., Menshikov S.L., Zavyalov K.E., Kuzmina N., Potapenko A., Ayan S., Laaribya S. Scotch Pine Regeneration in Magnesite Pollution Conditions in South Ural, Russia // *SEEFOR*, 2018, v. 9(1). <https://doi.org/10.15177/seefor.18-02>
- [20] Завьялов К.Е. Отклик радиального прироста *Pinus sylvestris* L. в опыте рекультивации техногенно-нарушенных земель Саткинского промузла // *Экология и промышленность России*, 2018. Т. 22. № 4. С. 60–63. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-4-60-63>
- [21] Колесников Б.П. Леса Челябинской области. Леса СССР, Т. 4. М.: Наука, 1969. С. 125–157.
- [22] Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Кн. 1, ч. 1–6. Вып. 9. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 557 с.
- [23] Менщиков С.Л., Кузьмина Н. А., Мохначев П.Е. Воздействие атмосферных выбросов магнетитового производства на почвы и снеговой покров // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 2012. № 5(37). С. 221–224.
- [24] Менщиков С.Л. Исследование экологических особенностей роста и обоснование агротехники создания культур хвойных пород в условиях магнетитовых запылений: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Свердловск, 1985. 20 с.
- [25] Бабич Н.А., Мерзленко М.Д. Биологическая продуктивность лесных культур. Архангельск: Изд-во АГТУ, 1998. 89 с.
- [26] Юсупов И.А., Луганский Н.А., Залесов С.В. Состояние искусственных сосновых молодняков в условиях аэропромвыбросов. Екатеринбург: Изд-во УГЛТА, 1999. 185 с.
- [27] Мартынюк А.А. Особенности формирования надземной фитомассы сосновых молодняков в условиях техногенного загрязнения // *Лесоведение*, 2008. № 1. С. 39–45.
- [28] Alaouqi H.A.A., Genc C.O., Aricak B., Kuzmina N., Menshikov S., Cetin M The possibility of using Scots pine needles as biomonitor in determination of heavy metal accumulation // *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, t. 27, no. 16, pp. 20273–20280.
- [29] Менщиков С.Л., Кузьмина Н.А., Мохначев П.Е. Аккумуляция металлов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), в почве и снеговой воде в условиях техногенного загрязнения // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2020. Т. 24. № 3. С. 94–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-94-102
- [30] Синдирева А.В. Прогнозирование содержания химических элементов в почве и растениях при техногенном загрязнении // *Вестник Омского государственного аграрного университета*, 2003. № 3. С. 13–15.
- [31] Кузнецов М.Н., Могилева С.М. Накопление тяжелых металлов в плодах и почве в зоне техногенного загрязнения // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*, 2008. № 4. С. 80–82.
- [32] Петрушенко В.В., Шихалева Г.Н., Васильева Т.В., Энан А.А. Биологическая утилизация техногенных загрязнений в системе «почва — растение — атмосферный воздух» // *Вестник ИрГСХА*, 2011. № 44–8. С. 92–97.
- [33] Петров В.Г., Шумилова М.А. Способ изучения в лабораторных условиях подвижности техногенных загрязнений в почве // *Химическая физика и мезоскопия*, 2012. Т. 14. № 2. С. 249–252.
- [34] Батова Ю.В., Казнина Н.М., Титов А.Ф., Лайдинен Г.Ф. Состояние травянистой растительности и накопление тяжелых металлов растениями, произрастающими в условиях техногенного загрязнения почвы // *Вестник Тамбовского университета. Сер.: Естественные и технические науки*, 2014. Т. 19. № 5. С. 1642–1645.
- [35] Тарханов С.Н. Хвойные насаждения в условиях атмосферного загрязнения // *Лесное хозяйство*, 2004. № 3. С. 18–20.
- [36] Ворончихина Е.А., Запоров А.Ю., Касимов А.К. Функциональное значение лесных экосистем в нейтрализации атмосферного загрязнения // *Формирование лесного кадастра, системы плат за лесопользование и аренды лесов Урала / под ред. С.А. Мамаева, Р.П. Исаевой*. Екатеринбург: Изд-во Института леса Уральского отделения Российской академии наук, 1996. С. 21–23.
- [37] Усольцев В.А., Воробейчик Е.Л., Бергман И.Е. Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения: Исследование системы связей и закономерностей. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2012. 366 с.
- [38] Bugmann H. A review of forest gap models // *Climatic Change*, 2001, t. 51, no. 3–4, pp. 259–305.

## Сведения об авторах

**Завьялов Константин Евгеньевич**  — канд. с.-х. наук, науч. сотр. ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН», zavyalov.k@mail.ru

**Меншиков Сергей Леонидович** — д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр., зав. лабораторией экологии техногенных растительных сообществ, ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН», m.sergei1951@yandex.ru

**Мохначев Павел Евгеньевич** — канд. биол. наук, науч. сотр., ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН», mokhnachev74@mail.ru

**Кузьмина Надежда Александровна** — науч. сотр., ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН», yarkaya05@mail.ru

Поступила в редакцию 07.11.2022.

Одобрено после рецензирования 10.01.2023.

Принята к публикации 25.01.2023.

## MAGNESITE PRODUCTION AEROTECHNOGENIC EMISSIONS IMPACT ON THE ELEVATED PHYTOMASS *BETULA PENDULA* ROTH DEPENDING ON SOIL FERTILITY

**K.E. Zav'yalov, S.L. Menshchikov, P.E. Mokhnachev, N.A. Kuz'mina**

Botanical Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 202a, 8 Marta st., 620144, Ekaterinburg, Russia

zavyalov.k@mail.ru

The study of the test crop European birch elevated phytomass at the magnesite production impact zone (the Southern Urals, Satka) was carried out. Two plots of test crops of the same age (created in 1983) growing 3 km away from the source of technogenic pollution from magnesite production and with different soil fertility were studied. The elevated phytomass of the stand was calculated using sample trees. The selection of trees was carried out from different thickness levels within the entire range. A regression method was used to estimate the phytomass of the stand. In the course of our work, we tested the null hypothesis that soil fertility is a significant factor for the adaptation of the *Betula pendula* Roth to pollution since it was noted that stands on rich soils have the best growth (height, diameter) and the vital condition of the stand. A comparative analysis of the elevated phytomass of test crops with the same level of pollution by magnesite production emissions, but growing on soils of different fertility, allowed us to assess the effect of the soil factor on the ability of the European birch to adapt to technogenic pollution. Under the conditions of magnesite production emissions, the elevated phytomass of experimental *Betula pendula* Roth crops growing on highly fertile soils is not reduced to the same extent as that of birch growing on low-fertile soils. Under the negative emissions impact, the mass of wood and branches of the *Betula pendula* Roth growing on highly fertile soils decreases to a smaller extent than the mass of other fractions. The wood and branches weight of the *Betula pendula* Roth growing on highly fertile soils is 3.8 and 3.0 times higher, respectively, and the weight of leaves and bark is 2.3 and 2.4 respectively, compared with test plot No. 5 on low-fertile soils.

**Keywords:** *Betula pendula* Roth, technogenic pollution, overground phytomass

**Suggested citation:** Zav'yalov K.E., Menshchikov S.L., Mokhnachev P.E., Kuz'mina N.A. *Vliyanie aerotekhnogennykh vybrosov magnезитового производства на наземную фитомассу Betula pendula Roth в зависимости от плодородия почвы* [Magnesite production aerotechnogenic emissions impact on the elevated phytomass *Betula pendula* Roth depending on soil fertility]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 104–111. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-104-111

## References

- [1] Maiti R., Rodriguez H.G. Mystery of Coexistence and Adaptation of Trees in a Forest Ecosystem. *Forest Research*, 2015, no. 4, p. e120. DOI: 10.4172/2168-9776.1000e120
- [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: Udmurt State University, 2010, 184 p.
- [3] Lugovskaya A. Yu., Khramova E.P., Chankina O.V. *Vliyanie transportno-promyshlennogo zagryazneniya na morfometricheskie parametry i elementnyy sostav Potentilla fruticosa* [Effect of transport and industrial pollution on morphometric parameters and element composition of *Potentilla fruticosa*]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal [Siberian Ecological Journal]*, 2018, v. 25, no. 1. pp. 111–121.
- [4] Dise N.B., Gundersen P. Forest Ecosystem Responses to Atmospheric Pollution: Linking Comparative With Experimental Studies. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus*, 2004, no. 4(2), pp. 207–220. <https://doi.org/10.1023/B:WAFO.0000028355.20005.c5>
- [5] Mikhailova T.A., Afanasieva L.V., Kalugina O.V., Shergina O.V., Taranenko E.N. Changes in nutrition and pigment complex in pine (*Pinus sylvestris* L.) needles under technogenic pollution in Irkutsk region, Russia. *J. of Forest Research*, 2017, v. 22, no. 6, pp. 386–392. DOI: 10.1080/13416979.2017.1386020

- [6] Menon M., Hermle S., Günthardt-Goerg M.S., Schulin R. Effects of heavy metal soil pollution and acid rain on growth and water use efficiency of a young model forest ecosystem. *Plant and Soil*, 2007, v. 297, pp. 171–183. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9331-4>
- [7] Orozco-Aceves M., Standish R.J., Tibbett M. Soil conditioning and plant-soil feedbacks in a modified forest ecosystem are soil-context dependent. *Plant and Soil*, 2015, v. 390, pp. 183–194. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2390-z>
- [8] Bennett J.A., Maherali H., Reinhart K.O., Lekberg Y., Hart M.M., Klironomos J. Plant-soil feedbacks and mycorrhizal type influence temperate forest population dynamics. *Science*, 2017, v. 355, iss. 6321, pp. 181–184. DOI: 10.1126/science.aai8212
- [9] Soboleva S.V., Esyakova O.A., Voronin V.M. *Otsenka aerogennogo zagryazneniya s ispol'zovaniem sosny obyknovennoy (Pinus silvestris L.) i eli sibirskoy (Picea obovata)* [Assessment of aerogenic pollution using Scots pine (*Pinus silvestris* L.) and Siberian spruce (*Picea obovata*)]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal area], 2020, v. 38, no. 3–4, pp. 115–122.
- [10] Gorbatenko V.M. *Struktura fitomassy drevsnogo yarusa sosnyakov* [The structure of the phytomass of the tree layer of pine forests]. *Izucheniye prirody lesov Sibiri* [Study of the nature of Siberian forests]. Krasnoyarsk: [b. and.], 1972, pp. 3–10.
- [11] Makarenko A.A. *O svoystvakh ryadov raspredeleniya derev'ev v drevostoyakh* [On the properties of tree distribution rows in forest stands]. *Lesovedenie*, 1975, no. 6, pp. 42–60.
- [12] Rubtsov V.I., Rubtsov V.V. *Biologicheskaya produktivnost' kul'tur sosny pri raznoy gustote posadki* [Biological productivity of pine crops at different planting density]. *Lesovedenie*, 1975, no. 1, pp. 28–36.
- [13] Semechikina M.G. *Struktura fitomassy sosnyakov* [The structure of the phytomass of pine forests]. Novosibirsk: Nauka, 1978, 65 p.
- [14] Zav'yalov K.E., Menshchikov S.L. *Opyt rekul'tivatsionnykh meropriyatiy po lesovosstanovleniyu narushennykh zemel' satkinskogo promuzla* [Experience of reclamation measures for reforestation of disturbed lands of the Satka industrial hub]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2016, v. 20, no. 12, pp. 36–38. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-12-36-38>
- [15] Zav'yalov K., Menshchikov S., Mohnachev P., Kuz'mina N., Potapenko A., Ayan S. Response of Scotch pine, Sukachyov's larch, and silver birch to magnesite dust in Satkinsky industrial hub. *Forestry Ideas*, 2018, t. 24, no. 1, pp. 23–36.
- [16] Zav'yalov K.E., Menshchikov S.L. *Nadzemnaya fitomassa opytnykh kul'tur berezy povisloy v usloviyakh zagryazneniya magnezitovoy pyl'yu* [Above-ground phytomass of experimental cultures of birch under conditions of pollution with magnesite dust]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University], 2010, no. 4 (28), pp. 27–30.
- [17] Zav'yalov K.E. *Morfologiya i khimicheskii sostav list'ev opytnykh kul'tur berezy povisloy (Betula Pendula Roth) v usloviyakh magnezitovogo zagryazneniya* [Morphology and chemical composition of the leaves of experimental cultures of silver birch (*Betula Pendula* Roth) under conditions of magnesite pollution]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University], 2013, no. 3 (41), pp. 230–232.
- [18] Mokhnachev P.E., Makhneva S.G., Menshchikov S.L. *Osobennosti reproduktcii sosny obyknovennoy (Pinus silvestris L.) v usloviyakh zagryazneniya magnezitovoy pyl'yu* [Peculiarities of reproduction of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) under conditions of pollution with magnesite dust]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University], 2013, no. 3 (41), pp. 8–9.
- [19] Mohnachev P.E., Makhniova S.G., Menshchikov S.L., Zavyalov K.E., Kuzmina N., Potapenko A., Ayan S., Laaribya S. Scotch Pine Regeneration in Magnesite Pollution Conditions in South Ural, Russia. *SEEFOR*, 2018, v. 9(1). <https://doi.org/10.15177/seefor.18-02>
- [20] Zav'yalov K.E. *Otklik radial'nogo prirosta Pinus sylvestris L. v opyte rekul'tivatsii tekhnogenno-narushennykh zemel' Catkinskogo promuzla* [The response of the radial growth of *Pinus sylvestris* L. in the experience of reclamation of technogenically disturbed lands of the Satka industrial hub]. [Ecology and Industry of Russia], 2018, v. 22, no. 4, pp. 60–63. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-4-60-63>
- [21] Kolesnikov B.P. *Lesa Chelyabinskoy oblasti. Lesa SSSR* [Forests of the Chelyabinsk region. Forests of the USSR]. T. 4. Moscow: Nauka, 1969, pp. 125–157.
- [22] *Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletnie dannye* [Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 3. Long-term data]. Book. 1, ch. 1–6, iss. 9. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990, 557 p.
- [23] Menshchikov S.L., Kuz'mina N. A., Mokhnachev P.E. *Vozdeystvie atmosferynykh vybrosov magnezitovogo proizvodstva na pochvy i snegovoy pokrov* [The impact of atmospheric emissions of magnesite production on soils and snow cover]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University], 2012, no. 5 (37), pp. 221–224.
- [24] Menshchikov S.L. *Issledovanie ekologicheskikh osobennostey rosta i obosnovanie agrotekhniki sozdaniya kul'tur khvoynykh porod v usloviyakh magnezitovykh zapyleniy* [Research of ecological features of growth and substantiation of agricultural technology for the creation of coniferous crops in conditions of magnesite dusting]. *Dis. Cand. Sci. (Agric.)*. Sverdlovsk, 1985, 20 p.
- [25] Babich H.A., Merzlenko M.D. *Biologicheskaya produktivnost' lesnykh kul'tur* [Biological productivity of forest crops]. Arkhangelsk: AGTU Press, 1998, 89 p.
- [26] Yusupov I.A., Luganskiy N.A., Zalesov S.V. *Sostoyaniye iskusstvennykh sosnovykh molodnyakov v usloviyakh aeropromvybrosov* [The state of artificial pine young stands under conditions of industrial emissions]. Ekaterinburg: UGLTA, 1999, 185 p.
- [27] Martynyuk A.A. *Osobennosti formirovaniya nadzemnoy fitomassy sosnovykh molodnyakov v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya* [Peculiarities of formation of aboveground phytomass of young pine forests under conditions of technogenic pollution]. *Lesovedenie*, 2008, no. 1, pp. 39–45.
- [28] Alaqouri H.A.A., Gene C.O., Aricak B., Kuzmina N., Menshchikov S., Cetin M. The possibility of using Scots pine needles as biomonitor in determination of heavy metal accumulation. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, t. 27, no. 16, pp. 20273–20280.
- [29] Menshchikov S.L., Kuz'mina N.A., Mokhnachev P.E. *Akkumulyatsiya metallov v khvoe sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) v pochve i snegovoy vode v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya* [Accumulation of metals in Pine (*Pinus sylvestris* L.) needles, in soil and snow melt water in conditions of technogenic pollution]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 94–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-94-102

- [30] Sindireva A.V. *Prognozirovanie sodержaniya khimicheskikh elementov v pochve i rasteniyakh pri tekhnogenom zagryaznenii* [Forecasting the content of chemical elements in soil and plants under technogenic pollution]. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Omsk State Agrarian University], 2003, no. 3, pp. 13–15.
- [31] Kuznetsov M.N., Mogileva S.M. *Nakoplenie tyazhelykh metallov v plodakh i pochve v zone tekhnogennoho zagryazneniya* [Accumulation of heavy metals in fruits and soil in the zone of technogenic pollution]. Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk [Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences], 2008, no. 4, pp. 80–82.
- [32] Petrushenko V.V., Shikhaleeva G.N., Vasil'eva T.V., Ennan A.A. *Biologicheskaya utilizatsiya tekhnogennykh zagryazneniy v sisteme «pochva — rastenie — atmosferynyy vozdukh»* [Biological utilization of technogenic pollution in the system «soil-plant-atmospheric air»]. Vestnik IrGSHA, 2011, no. 44–8, pp. 92–97.
- [33] Petrov V.G., Shumilova M.A. *Sposob izucheniya v laboratornykh usloviyakh podvizhnosti tekhnogennykh zagryazneniy v pochve* [A method for studying the mobility of technogenic pollution in soil under laboratory conditions]. Khimicheskaya fizika i mezoskopiya [Chemical Physics and Mezoscopy], 2012, v. 14, no. 2, pp. 249–252.
- [34] Batova Yu.V., Kaznina N.M., Titov A.F., Laydinen G.F. *Sostoyanie travyanistoy rastitel'nosti i nakoplenie tyazhelykh metallov rasteniyami, proizrastayushchimi v usloviyakh tekhnogennoho zagryazneniya pochvy* [The state of herbaceous vegetation and the accumulation of heavy metals by plants growing in conditions of technogenic soil pollution]. Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Bulletin of the Tambov University. Series: Natural and technical sciences], 2014, v. 19, no. 5, pp. 1642–1645.
- [35] Tarkhanov S.N. *Khvoynye nasazhdeniya v usloviyakh atmosfernogo zagryazneniya* [Coniferous plantations under conditions of atmospheric pollution]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 2004, no. 3, pp. 18–20.
- [36] Voronchikhina E.A., Zaporov A.Yu., Kasimov A.K. *Funktsional'noe znachenie lesnykh ekosistem v neytralizatsii atmosfernogo zagryazneniya* [The functional significance of forest ecosystems in the neutralization of atmospheric pollution]. Formirovanie lesnogo kadastra, sistemy plat za lesopol'zovanie i arendy lesov Urala [Formation of the forest cadastre, systems of payments for forest use and lease of forests in the Urals]. Eds. S.A. Mamaev, R.P. Isaeva. Ekaterinburg: Forest Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1996, pp. 21–23.
- [37] Usol'tsev V.A., Vorobeychik E.L., Bergman I.E. *Biologicheskaya produktivnost' lesov Urala v usloviyakh tekhnogennoho zagryazneniya: Issledovanie sistemy svyazey i zakonomernostey* [Biological productivity of forests in the Urals under conditions of technogenic pollution: Study of the system of relationships and patterns]. Ekaterinburg: UGLTU, 2012, 366 p.
- [38] Bugmann H. A review of forest gap models. Climatic Change, 2001, t. 51, no. 3–4, pp. 259–305.

*The work was carried out within the framework of the State task of the Ural Branch Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences.*

## Authors' information

**Zav'yalov Konstantin Evgen'evich**✉ — Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, Ecology Laboratory of Technogenic plant communities, Forest Department, Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, zavyalov.k@mail.ru

**Menshchikov Sergey Leonidovich** — Dr. Sci. (Agriculture), Head Laboratory of Ecology of Technogenic Plant Communities, FGBUN Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, m.sergei1951@yandex.ru

**Mokhnachev Pavel Evgen'evich** — Cand. Sci. (Biology), Researcher, Ecology Laboratory of Technogenic plant communities, Forest Department, Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, mohnachev74@mail.ru

**Kuz'mina Nadezhda Aleksandrovna** — Researcher, Ecology Laboratory of technogenic plant communities, Forest Department, Russian Academy of Sciences, Ural Branch: Institute Botanic Garden, yarkaya05@mail.ru

Received 07.11.2022.

Approved after review 10.01.2023.

Accepted for publication 25.01.2023.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article  
The authors declare that there is no conflict of interest