УДК 574.4:504.054:666.94 (476)

А.М. Николайчук¹, М.Н. Вашкевич²¹канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник
лаборатории экологической физиологии растений
Центрального ботанического сада НАН Беларуси²мл. науч. сотрудник лаборатории экологической физиологии растений
Центрального ботанического сада НАН Беларуси
[e-mail: office@cbg.org.by](mailto:office@cbg.org.by)**МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХВОИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ,
ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ВЫБРОСАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦЕМЕНТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Рассмотрены такие морфометрические показатели, как длина побега, количество хвои на 10 см побега, а также биометрические показатели хвои (длина и ширина). Исследования проводились на 24 пробных площадях включая контрольные точки. Полученные данные позволяют сказать, что с приближением насаждений к цементным производствам снижается количество хвои, а также уменьшается длина и ширина хвоинок. Однако в некоторых случаях морфометрические показатели хвои обратно пропорциональны расстоянию от источника эмиссии. Вероятнее всего, это связано с компенсаторными реакциями растения в ответ на влияние неблагоприятных факторов среды.

Введение

Одним из важнейших показателей жизненного состояния и потенциальных возможностей лесных сообществ является характер развития и функционирования ассимиляционных органов растений. Характерными признаками неблагополучия окружающей среды является не только появление хлорозов и некрозов, но и уменьшение размеров ряда органов (длины и ширины хвои, длины побегов и их толщины и т.д.). Установлено, что начальная реакция сосны обыкновенной на загрязнение воздуха выбросами промышленных предприятий выражается в сокращении продолжительности жизни хвои на 1–2 года, а по мере увеличения концентрации техногенных выбросов отмечается сокращение продолжительности жизни хвои, изреживание крон, исчезновение с их стволов эпифитных лишайников [1].

Отмечено, что на размерах хвои отражаются условия среды, в которой находится корневая система [2]. Некоторые авторы пришли к выводу, что в худших условиях деревья начинают увеличивать массу ассимиляционного аппарата, восполняя тем самым его пониженную активность в этих условиях [3]. Однако ряд других авторов, наоборот, считают, что ухудшение условий роста дерева ведет к снижению морфометрических параметров хвои [4].

Таким образом, уменьшение массы хвои, изменение ее длины и ширины, а также изреживание крон древостоев можно использовать в качестве критериев при оценке степени воздействия аэротехногенного загрязнения [5].

Материалы и методы исследования

Было изучено состояние ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной под влиянием выбросов предприятий цементной промышленности. Исследования проводились на 24 пробных площадях (ПП), расположенных на различном расстоянии от цементных производств Беларуси (Костюковичский цементный завод, Кричевский цементный завод и Красносельский завод стройматериалов). Были также заложены две условно-контрольные пробные площади на расстоянии 39,660 км от Красносельского завода стройматериалов (ПП-9) и 30 км от Костюковичского цементного завода (Хотимск).

Хвойные растения удобны тем, что могут служить биоиндикаторами круглогодично. Для определения состояния окружающей среды вокруг исследуемых нами цементных заводов была использована методика определения комплекса признаков у хвойных (длина побега, длина и ширина хвои), а также подсчитано количество хвоек на 10 см побега [6].

Результаты и их обсуждение

Разброс значений длины побегов сосны обыкновенной, произрастающей вблизи белорусских цементных заводов, в среднем находился в следующих пределах:

- 1) Красносельский завод стройматериалов – от 64,00 до 156,00 мм,
- 2) Кричевский цементный завод – от 72,33 до 227,00 мм,
- 3) Костюковичский цементный завод – от 49,60 до 169,60 мм (таблица 1).

Таблица 1. – Длина побегов сосны обыкновенной на территориях цементных заводов Республики Беларусь, мм

Место отбора / расстояние от завода, км		первый год	второй год	третий год
Красносельский завод стройматериалов				
Красносельский цементный завод		156 ± 47,85	127,8 ± 46,22	123,25 ± 39,7
Росское лесничество	ПП-1 / 7,527	74,2 ± 15,74	77,5 ± 35,73	–
	ПП-2 / 2,623	87,33 ± 13,28	75 ± 11,6	64 ± 0,01
	ПП-3 / 2,152	94,6 ± 21,01	94,25 ± 25,4	–
	ПП-4 / 1,666	70,4 ± 6,95	70 ± 13,91	76 ± 21,21
	ПП-5 / 1,403	76 ± 16,85	76,4 ± 20,14	101,4 ± 19,22
	ПП-6 / 4,029	98 ± 33,82	86,2 ± 25,53	86,4 ± 28,45
	ПП-7 / 5,03	116, ± 26,32	101 ± 26,94	95,2 ± 27,22
Волковысское лесничество	ПП-8 / 8,902	124,4 ± 28,83	104 ± 12,69	109,4 ± 32,75
Порозовское лесничество (контроль)	ПП-9 / 39,66	134,4 ± 45,77	127,6 ± 41,4	–
Кричевский цементный завод				
Краснобудское лесничество	ПП-1 / 2,542	227 ± 61,3	226,67 ± 58,38	–
	ПП-2 / 2,442	77,6 ± 13,63	73,4 ± 10,06	72,33 ± 1069
	ПП-3 / 3,45	98,67 ± 25,11	72,5 ± 27,58	–
	ПП-4 / 4,16	72,6 ± 24,15	75,67 ± 8,02	–
Костюковичский цементный завод (БЦЗ)				
Костюковичское лесничество	ПП-1/ 2,329	64,4 ± 24,56	57,2 ± 13,7	–
	ПП-2 / 1,4	81,8 ± 44,38	65,2 ± 12,5	54,4 ± 29,24
	ПП-3 / 2,69	86,75 ± 14,61	60,6 ± 13,5	–
	ПП-4 / 3,948	66 ± 17,1	65,4 ± 12,82	–
	ПП-5 / 6,27	81,2 ± 18,46	69,8 ± 34,2	–
	ПП-6 / 8,1	59,8 ± 7,22	49,6 ± 11,97	–
	ПП-7 / 3,982	65 ± 15,07	67,2 ± 12,85	–
БЦЗ Костюковичи. Точка 1		101,4 ± 36,02	67 ± 16,43	149 ± 30,7
БЦЗ Костюковичи. Точка 2		56,25 ± 11,08	65 ± 20	105,33 ± 56
Хотимск (контроль) / 30		139 ± 37,12	169,6 ± 44,25	–

Самые длинные побеги отмечены у сосны, произрастающей на ПП-1 Кричевского цементного завода (227,00 и 226,67 мм). Что касается наименьшей длины побега, то она зафиксирована у побегов первых двух лет жизни в Костюковичском лесничестве (ПП-6) и имеет значения 59,80 и 49,60 мм. Отмечено закономерное увеличение длины побегов в контрольных точках – в Порозовском лесничестве (ПП-9) и в Хотимске (таблица 1).

На территории Красносельского завода стройматериалов также был выявлен высокий показатель длины побегов сосны – в среднем 156,00, 127,80 и 123,25 мм. Из результатов видно, что существует обратная связь между длиной побега и расстоянием от Кричевского цементного завода.

Важным показателем условий роста хвойных является количество хвои на 10 см побега [6]. Нами было отмечено, что с увеличением возраста побега количество хвоинок у сосны обыкновенной уменьшается от однолетнего побега к трехлетнему. Только у сосны, отобранной в окрестностях Костюковичского цементного завода на пробных площадях 5 и 7, происходит увеличение количество хвоинок по мере старения побега.

Наименьшая плотность охвоения отмечена на ПП-6 Костюковичского лесничества, где количество хвои на одно- и двухлетних побегах было 64,60 и 64,80 шт. соответственно, что является самым низким показателем по сравнению со всеми исследованными образцами.

Для Костюковичского цементного завода контрольный отбор проб был произведен в 30 км от предприятия (Хотимск). По мере удаления от БЦЗ (ПП-1 – ПП-5) число хвои на одно-, двух- и трехлетних побегах увеличивается и достигает значений больше, чем в контрольной зоне. Также отмечено, что в контрольной зоне на двухлетних побегах сосны количество хвои минимально (в среднем 14 шт.).

Самая высокая плотность охвоения наблюдалась у сосны обыкновенной, произрастающей вблизи Красносельского завода стройматериалов (ПП-3), где исследуемые значения были в среднем 185,36 и 128,85 шт. на одно- и двухлетних побегах соответственно. Хочется отметить, что с увеличением расстояния от Красносельского завода стройматериалов наблюдается снижение охвоенности побегов всех категорий.

Так, в контроле (ПП-9) количество хвои на одно- и двухлетних побегах было 133,00 и 78,00 шт. соответственно, что значительно меньше, чем число хвои у сосны, произрастающей в непосредственной близости от завода – ПП-2 – ПП-5, где значения были от 101,60 до 185,36 шт. на 10 см побега.

Закономерное увеличение количества одно- и двухлетней хвои сосны обыкновенной отмечается при удалении от Кричевского завода стройматериалов. Так, число хвоинок однолетней хвои увеличивается с 119,60 до 165,20 шт. на 10 см побега. Плотность охвоения двухлетних побегов составляет 110,00–133,33 шт. на 10 см побега.

Важным фактором производственного процесса являются размеры фотосинтезирующей поверхности растений, ведь именно от нее зависит количество поглощенной солнечной энергии. В таблице 2 приведены данные об изменении средней длины хвои сосны обыкновенной первых трех лет жизни, отобранной на различном удалении от цементных заводов Беларуси.

Следует отметить, что на территории Красносельского завода стройматериалов анализируемый показатель находился в пределах 39,79–92,47 мм. У растений, произрастающих на территории самого завода и в контрольной зоне, расположенной на расстоянии 39,660 км от завода, длина хвои имела самые низкие значения.

На ПП-7 и ПП-8, которые находятся на расстоянии 5,030 и 8,902 км соответственно, были зафиксированы самые высокие показатели длины хвои всех возрастов. Что касается ширины хвои, то наибольшее значение (в среднем 2 мм) мы наблюдали у сосны, произрастающей на расстоянии 8,902 км от завода (ПП-8). На других пробных площадях ширина хвои колебалась от 0,95 до 1,70 мм, причем этот показатель увеличивался при удалении от завода стройматериалов.

Исключение составляет контрольная зона (ПП-9), где ширина хвои первого и второго годов жизни была в среднем 1 мм, что ниже, чем ширина хвои у растений, произрастающих на территории, прилегающей к заводу.

Таблица 2. – Морфометрические показатели хвои сосны обыкновенной в насаждениях, расположенных на различном удалении от цементных заводов Беларуси, мм

Место отбора / расстояние от завода, км		Продолжительность жизни хвои					
		первый год		второй год		третий год	
		длина	ширина	длина	ширина	длина	ширина
Красносельский завод стройматериалов							
Красносельский цементный завод		48,67 ± 5,28	1,17 ± 0,25	55,07 ± 9,22	1,5 ± 0,01	55,4 ± 11,22	1,27 ± 0,26
Росское лесничество	ПП-1 / 7,527	53,8 ± 5,76	1,2 ± 0,26	79 ± 8,93	1,5 ± 0,01	–	–
	ПП-2 / 2,623	53,1 ± 5,06	1,3 ± 0,33	67,3 ± 7,38	1,39 ± 0,37	82,04 ± 6,78	1,37 ± 0,24
	ПП-3 / 2,152	48,4 ± 2,83	0,95 ± 0,08	50 ± 2,39	1,4 ± 0,1	–	–
	ПП-4 / 1,666	40,67 ± 2,79	0,93 ± 0,09	56,16 ± 5,63	1,02 ± 0,06	53,4 ± 5,79	1,01 ± 0,1
	ПП-5 / 1,403	42,08 ± 4,27	1 ± 0,01	59,07 ± 6,78	1 ± 0,01	64,25 ± 7,36	1,16 ± 0,24
	ПП-6 / 4,029	39,79 ± 2,72	1 ± 0,01	60,93 ± 5,41	1 ± 0,01	62,47 ± 1,37	1,06 ± 0,17
	ПП-7 / 5,03	58,46 ± 10,52	1,35 ± 0,24	72,36 ± 14,71	1,43 ± 0,18	92,47 ± 6,32	1,7 ± 0,25
Волковысское лесничество	ПП-8 / 8,902	63,54 ± 17,37	2 ± 0,01	71,57 ± 7,21	2 ± 0,01	77,46 ± 8,24	2 ± 0,01
Порозовское лесничество (контроль)	ПП-9 / 39,66	47,36 ± 3,88	1 ± 0,01	50,38 ± 5,9	1 ± 0,01	–	–
Кричевский цементный завод							
Краснобудское лесничество	ПП-1 / 2,542	50,65 ± 4,55	1,45 ± 0,31	67,10 ± 9,09	1,87 ± 0,21	–	–
	ПП-2 / 2,442	46,27 ± 4,34	1,05 ± 0,05	59,30 ± 4,40	1,05 ± 0,05	76,30 ± 4,09	1,11 ± 0,01
	ПП-3 / 3,45	52,32 ± 5,68	1,06 ± 0,08	59,55 ± 9,24	1,17 ± 0,14	–	–
	ПП-4 / 4,16	54,10 ± 3,87	1,08 ± 0,08	61,30 ± 1,26	1,06 ± 0,13	55,25 ± 1,26	1,15 ± 0,17
Костюковичский цементный завод							
Костюковичское лесничество	ПП-1 / 2,329	51,50 ± 3,76	1 ± 0,01	52,13 ± 7,06	1 ± 0,01	–	–
	ПП-2 / 1,4	48,15 ± 10,49	1 ± 0,01	57,85 ± 7,96	1 ± 0,01	60,07 ± 7,37	1 ± 0,01
	ПП-3 / 2,69	53,6 ± 6,38	1 ± 0,01	50,38 ± 12,30	1 ± 0,01	–	–
	ПП-4 / 3,948	54,4 ± 6,6	1,3 ± 0,25	66,53 ± 12,53	1,5 ± 0,01	–	–
	ПП-5 / 6,27	55,63 ± 6,88	1 ± 0,01	58,63 ± 6,27	1 ± 0,01	–	–
	ПП-6 / 8,1	67,93 ± 5,24	1,32 ± 0,25	65,43 ± 5,33	1,18 ± 0,25	–	–
	ПП-7 / 3,982	85,92 ± 5,19	1,69 ± 0,38	71,31 ± 5,98	1 ± 0,01	–	–
БЦЗ Костюковичи. Точка 1	71,2 ± 5,59	1,09 ± 0,06	75,2 ± 11,5	1,06 ± 0,07	–	–	
БЦЗ Костюковичи. Точка 2	59,5 ± 2,99	1,59 ± 0,34	57,9 ± 3,03	1 ± 0,01	–	–	
Хотимск (контроль) / 30	56,3 ± 6,85	1,09 ± 0,1	60,7 ± 6,57	1,08 ± 0,06	–	–	

Средняя длина хвои сосны обыкновенной, отобранной в окрестностях Костюковичского цементного завода, колебалась в пределах 48,15–85,92 мм и наибольших значений достигла на ПП-7 и в точке 1. Высокие значения длины хвои отмечены также на ПП-6 (67,93 и 65,43 мм). Самая короткая хвоя была у сосны, произрастающей на ПП-2 (48,15 мм).

Анализ данных средней длины хвои на территории Костюковичского цементного завода показал наличие положительной связи между этим параметром и удаленно-

стью насаждений от источника загрязнения. Исключение составляет контрольная точка (Хотимск), расположенная в 30 км от завода; здесь длина хвои сосны обыкновенной достигала невысоких средних значений – 56,30 и 60,70 мм для хвои первых двух лет жизни.

По ширине хвои сосны обыкновенной, произрастающей вокруг Костюковичского цементного завода, следует отметить, что ее величины различались незначительно (1,00–1,69 мм). Самым высоким этот показатель был на ПП-7 у хвои первого года жизни (1,69 мм). Высокими были также значения ширины хвои на ПП-4 (1,30 и 1,50 мм), на ПП-6 (1,32 и 1,18 мм) и в точке 1 у хвои второго года жизни (1,59 мм). В контрольной точке ширина одно- и двухлетней хвои была 1,09 и 1,08 мм соответственно.

Исследование морфометрических параметров хвои сосны обыкновенной вблизи Кричевского цементного завода (ОАО «Кричевцементшифер») проводилось на четырех пробных площадках (ПП-1 – ПП-4).

Отмечено, что длина хвои первого года жизни на данных точках изменялась прямо пропорционально расстоянию от завода и находилась в пределах 46,27–54,10 мм. Длина хвои второго года жизни была 59,30–67,10 мм и наибольшего значения достигла на ПП-1 (2,542 км от завода).

Самая большая ширина хвои зафиксирована также на ПП-1, где среднее значение одно- и двухлетней хвои сосны обыкновенной составило 1,45 и 1,87 мм соответственно, тогда как на других пробных площадях данный показатель находился в пределах 1,05–1,17 мм (таблица 2).

Заключение

В результате проведенных исследований установлено влияние выбросов предприятий цементной промышленности на морфометрические показатели ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной. Таким образом, с приближением насаждений к источнику выбросов отходов цементной промышленности отмечается уменьшение количества хвои, ее длины и ширины, а также сокращение длины побега.

Однако в некоторых случаях морфометрические показатели хвои обратно пропорциональны расстоянию от источника эмиссии. Вероятнее всего, это связано с приспособлением растений к обитанию в условиях загрязнения воздуха выбросами отходов цементного производства. Ранее некоторые ученые также отмечали, что в худших условиях деревья увеличивают массу жизненно важного органа – ассимиляционного аппарата, восполняя тем самым его пониженную активность в этих условиях [3].

Согласно проведенным исследованиям, цементные заводы нашей страны можно расположить в следующей последовательности по степени увеличения отрицательного влияния на морфометрические показатели хвои сосны обыкновенной: Кричевский цементный завод (ОАО «Кричевцементшифер») – Красносельский завод стройматериалов (ОАО «Красносельскстройматериалы») – Костюковичский цементный завод (ОАО «Белорусский цементный завод»).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Залесов, С. В. Изменение морфометрических показателей хвои сосны обыкновенной в условиях аэропромвыбросов / С. В. Залесов, А. В. Бачурина // Лесное хоз-во. – 2008. – № 3. – С. 36–39.
2. Правдин, Л. Ф. Сосна обыкновенная / Л. Ф. Правдин. – М. : Наука, 1964. – 191 с.
3. Базилевич, Н. И. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах / Н. И. Базилевич, А. А. Титлянова, В. В. Смирнов / М. : Мысль, 1978. – 185 с.

4. Сергейчик, С. А. Экологическая физиология хвойных пород Беларуси в техногенной среде / С. А. Сергейчик, А. А. Сергейчик, Е. А. Сидорович. – Минск : Белорус. наука, 1998. – 199 с.
5. Алексеев, В. А. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / В. А. Алексеев. – Л. : Наука, 1990. – С. 38–53.
6. Федорова, А. И. Практикум по Экологии и охране окружающей среды : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / А. И. Федорова, А. Н. Никольская. – М. : ВЛАДОС, 2001. – 288 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 04.19.2017

Nikolaichuk A.M., Vashkevich M.N. Morphometric Features of Pine Needles Growing in Conditions of Technogenic Pollution by Emissions from Cement Industry Enterprises

The article presents the results of the study of morphometric indicators of pine needles grown in conditions of technogenic contamination by emissions from cement industry enterprises. Such indicators as the length of the shoot, the number of needles per 10 cm of shoot and the biometric parameters of the needles (length and width) are considered. The studies were conducted on 24 trial plots, including control points. The obtained data help to reveal that with the approach of plantations to cement production, the number of needles decreases, and the length and width of the needles decrease. However, in some cases, the morphometric parameters of the needles are inversely proportional to the distance from the source of emission. This is most likely due to the compensatory reactions of the plant in response to the influence of unfavorable environmental factors.