

УДК 581. 526.33 + 630*181

*Ю. П. Демаков, С. М. Швецов, М. И. Майшанова***ИЗМЕНЕНИЕ ЗОЛЬНОГО СОСТАВА ХВОИ, КОРЫ И ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ В ЗОНЕ ВЫБРОСОВ ЗАВОДА СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА**

Приведены данные, характеризующие изменение зольного состава хвои, коры и древесины сосны обыкновенной по градиенту загрязнения среды атмосферными выбросами Марийского завода силикатного кирпича. Установлено, что лучшими индикаторными способностями по оценке ответных реакций деревьев на загрязнение окружающей среды обладает хвоя, однако для оценки химического состава выбросов пыли и ареала их распространения лучше всего использовать полотнища хлопчатобумажной ткани.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, хвоя, кора, древесина, зольный состав, выбросы известковой пыли.

Введение. Проблема оценки изменения состояния природной среды под воздействием техногенных загрязнителей, возникшая во второй половине XX столетия в связи с ускоренным ростом во всем мире промышленного производства, потребовала, прежде всего, разработки и совершенствования методов натуральных и экспериментальных исследований, позволяющих просто и надежно оценивать не только концентрацию загрязняющих веществ в экосистемах, но и реакцию на них биоты. Много работ посвящено изучению влияния на лесные экосистемы техногенных загрязнителей, имеющих кислую химическую реакцию [1–4]. Значительно слабее изучено влияние промышленных щелочных загрязнений [5] и очень мало данных о влиянии на лес длительного загрязнения выбросами силикатного производства [6], крайне востребованного в настоящее время в связи с активным градостроительством. Лесные экосистемы, обладая значительными поглотительными возможностями, во многих случаях могут противостоять техногенной нагрузке, но имеют определенные пороги устойчивости, установить которые позволяет метод биоиндикации, основанный на оценке содержания микроэлементов в различных тканях растений. При ведении экологического мониторинга за состоянием лесных биогеоценозов чаще всего анализируют зольный состав ассимиляционного аппарата деревьев, чутко реагирующего на различные внешние воздействия [7–13], значительно реже используют для этой цели кору и древесину.

Цель работы – оценить влияние выбросов завода силикатного кирпича на зольный состав хвои, коры и древесины сосны обыкновенной, косвенно отражающий протекание биохимических процессов, на избирательность поглощения химических элементов из окружающей среды различными структурами деревьев, морфометрические параметры хвои и степень ее повреждения известковой пылью.

Объекты и методика исследования. Исходный материал собран в 2011 году на шести пробных площадях в сосняках, произрастающих в ТЛУ А₁₋₂ и удаленных на различное расстояние к северу от Марийского завода силикатного кирпича (квартал 27 Силикатного участкового лесничества Республики Марий Эл), который действует с 1953 года. На каждой пробной площадке взяты образцы хвои, коры и древесины сосны обыкновенной. Для отбора образцов хвои, у которой измеряли не только химические,

но и морфометрические параметры, на каждой пробной площади было срублено по пять средних по размерам модельных деревьев, с которых из центральной части кроны взято по пять веток. Оценку степени повреждения хвои проводили по 7-балльной шкале [8] на основе осмотра 100 пар хвоинок и последующего вычисления среднего балла.

Отбор образцов коры проводили на каждой пробной площади у 10 деревьев, используя высечку для пыжей. Для отбора образцов древесины у этих деревьев использовали возрастную буров Пресслера. Для оценки интенсивности аэральные выпадений пыли и ее зольного состава использовали полотнища хлопчатобумажной ткани, которыми обвязывали стволы деревьев на высоте 2,5-3 м.

Образцы хвои, коры и древесины, а также тканевых повязок, провисевших в лесу в течение пяти месяцев (с мая по сентябрь), высушивали до абсолютно сухого состояния при температуре 105°C, взвешивали, измельчали и сжигали в муфельной печи при температуре 450°C. Полученную золу взвешивали и определяли на атомно-абсорбционном спектрометре АAnalyst-400 содержание различных металлов, используя для расчетов формулу $C_Э = C_P \cdot V_P \cdot M_З / M_H \cdot M_C$, где $C_Э$ – содержание элемента в сухом образце, мг/кг; C_P – концентрация элемента в растворе, мг/л; V_P – объем раствора, в котором была растворена зола, $M_З$ – масса золы, г; M_H – масса навески, г; M_C – масса высушенного образца, г. Пробоподготовку образцов и процедуру химического анализа проводили по типовым методикам [14, 15]. Цифровой материал обработан на ПК с использованием стандартных методов математической статистики.

Результаты и обсуждение. Химический анализ показал, что в аэральные выбросах завода присутствует большой набор компонентов, основным из которых является, исходя из специфики производства, кальций. Его содержание в образцах ткани, находившихся на расстоянии 80 м от завода, в 172,5 раза выше, чем на фоновом участке (табл. 1). На втором месте по превышению концентрации над фоном находится стронций. Концентрация остальных металлов на прилегающем к заводу участке в 2,42–7,19 раза выше по сравнению с фоном. Содержание большинства зольных элементов в образцах ткани четко убывает по мере удаления от завода и стабилизация происходит на расстоянии 400–700 м от него. Данной закономерности не подчиняются только марганец и никель, концентрация которых наиболее велика на расстоянии 280–340 м. Содержание большинства зольных элементов в образцах ткани, за исключением марганца и никеля, очень тесно связано между собой.

Таблица 1

Изменение содержания зольных элементов в образцах ткани по градиенту загрязнения

Элемент	Содержание элементов по отношению к фону на разном удалении от завода, доли ед.							Фоновое содержание, мг / кг
	80 м	100 м	130 м	190 м	280 м	340 м	390 м	
Ca	172,5	141,1	79,0	50,9	45,7	31,6	13,6	238,9
Sr	72,8	47,9	22,0	19,2	13,1	4,56	4,78	0,50
Co	7,19	4,68	2,99	2,61	2,17	1,61	1,55	0,16
Cd	6,30	3,96	2,65	2,28	2,05	1,81	1,47	0,06
Fe	6,23	4,49	3,32	2,52	2,19	1,50	1,39	47,4
Pb	4,88	3,67	2,27	2,05	1,74	1,25	1,37	0,45
Mn	4,74	4,26	3,96	2,95	5,24	3,25	4,44	2,17
Ni	4,47	3,51	2,12	1,89	1,67	5,66	1,21	0,12
Zn	4,40	3,47	3,44	2,50	2,63	1,78	2,67	1,17
K	2,54	1,89	2,27	1,66	1,36	1,03	1,43	31,1
Cu	2,42	2,09	2,03	1,19	1,42	1,26	1,01	0,77

Хвоя деревьев, как показали исследования, обладает избирательной способностью поглощения химических элементов из окружающей среды. Так, содержание калия в хвое в 68,3 раза больше, чем в образцах ткани (табл. 2). Гораздо выше в хвое также концентрация цинка, никеля, меди, кобальта и свинца. По мере удаления от завода и снижения степени загрязнения среды величина соотношения в большинстве случаев существенно увеличивается. Это свидетельствует о том, что данные элементы дерева извлекают в основном из почвы, а не из выпадающей пыли. Содержание кадмия и железа в хвое, наоборот, ниже, чем в образцах ткани, особенно в зоне сильного загрязнения. Менее всего растения извлекают из выпадающей пыли стронций, который вместе с избытком кальция поступает в почву.

Таблица 2

Градиентное изменение значений коэффициента избирательности поглощения химических элементов из выпадающей пыли и накопления их в однолетней хвое

Элемент	Содержание элементов в хвое по отношению к ткани на разном удалении от завода, доли ед.					
	100 м	130 м	190 м	280 м	340 м	Фон – 1100 м
K	68,3	55,0	81,3	89,7	108,7	117,9
Zn	9,26	7,30	9,50	6,50	10,18	20,85
Ni	2,31	2,63	4,45	3,03	0,89	8,26
Cu	1,71	1,83	2,76	2,69	7,99	2,76
Co	1,56	2,72	2,93	3,72	5,38	8,65
Pb	1,25	2,03	1,73	2,37	2,54	3,80
Mn	0,58	0,70	1,42	2,01	2,61	16,82
Cd	0,43	0,52	0,37	0,41	0,40	0,60
Fe	0,41	0,45	0,56	0,58	0,77	1,08
Ca	0,31	0,39	0,25	0,26	0,46	13,08
Sr	0,08	0,15	0,05	0,07	0,18	0,68

Об избирательности извлечения деревьями зольных элементов из окружающей среды свидетельствует также снижение, по сравнению с образцами ткани, являющейся пассивным абсорбентом выпадающей пыли, тесноты связи между содержанием в хвое большинства металлов (табл. 3). Установлено, что повышенное содержание кальция в зоне воздействия завода силикатного кирпича приводит к снижению концентрации в хвое марганца и кобальта, но способствует накоплению стронция, кадмия и железа.

Таблица 3

Матрица коэффициентов корреляции между содержанием зольных элементов в сосновой хвое

Элемент	Значение коэффициента парной корреляции между элементами									
	Ca	K	Fe	Zn	Mn	Cu	Pb	Sr	Co	Ni
Ca	1,00									
K	-0,38	1,00								
Fe	0,83	-0,10	1,00							
Zn	0,62	0,19	0,59	1,00						
Mn	-0,55	0,02	-0,57	-0,17	1,00					
Cu	-0,36	0,34	-0,34	-0,26	-0,01	1,00				
Pb	0,64	-0,29	0,56	0,14	-0,30	-0,45	1,00			
Sr	0,96	-0,46	0,76	0,48	-0,57	-0,40	0,66	1,00		
Co	-0,55	0,27	-0,63	-0,25	0,47	0,30	-0,26	-0,44	1,00	
Ni	-0,22	0,44	-0,18	0,39	0,58	0,01	-0,16	-0,33	0,36	1,00
Cd	0,88	-0,53	0,65	0,48	-0,43	-0,45	0,64	0,89	-0,39	-0,17

Содержание в хвое золы и большинства элементов закономерно снижается по градиенту загрязнения (табл. 4). Наибольшее превышение в зоне загрязнения, по сравнению с фоновым уровнем, имеет стронций, хотя абсолютное содержание его в хвое очень мало. На втором месте в ранговом ряду элементов по их превышению над фоном находится кальций, абсолютное содержание которого в хвое самое большое, поскольку он является основой оболочки растительных клеток.

Таблица 4

Изменение по градиенту загрязнения содержания золы и зольных элементов в хвое

Элемент	Содержание элементов по отношению к фону на разном удалении от завода					Фоновое содержание элемента*
	100 м	130 м	190 м	280 м	340 м	
<i>Хвоя первого года жизни</i>						
Зола	1,71	1,54	1,09	1,04	1,01	2,02
Sr	5,86	4,92	1,32	1,36	1,23	0,341
Ca	3,40	2,38	0,97	0,90	1,11	3126,0
Cd	2,83	2,31	1,39	1,42	1,19	0,036
Fe	1,70	1,39	1,30	1,17	1,07	51,2
Zn	1,54	1,20	1,14	0,82	0,87	24,4
Cu	1,30	1,35	1,19	1,38	3,64	2,127
Pb	1,21	1,21	0,93	1,08	0,84	1,709
K	1,10	1,06	1,14	1,03	0,95	3665,5
Ni	0,98	0,67	1,02	0,61	0,61	0,991
Co	0,85	0,94	0,88	0,93	1,00	1,384
Mn	0,15	0,16	0,25	0,62	0,50	36,5
<i>Хвоя второго года жизни</i>						
Зола	1,54	1,59	0,97	1,04	0,99	2,26
Sr	3,52	3,80	1,23	1,18	1,68	0,880
Ca	2,81	2,66	1,03	1,04	1,35	4721,1
Cd	1,97	1,93	1,52	0,98	1,95	0,058
Fe	1,44	1,25	0,96	1,29	0,99	62,2
Ni	1,40	0,54	0,74	0,72	0,66	0,696
Pb	1,32	1,14	1,08	0,98	0,94	1,822
Zn	1,24	1,06	0,79	0,80	0,93	29,6
K	1,10	1,04	1,07	1,11	0,82	3083,3
Cu	1,10	1,20	1,18	1,22	1,36	1,555
Co	0,82	0,83	1,05	0,91	0,88	1,351
Mn	0,07	0,09	0,11	0,45	0,39	44,1
<i>Хвоя третьего года жизни</i>						
Зола	1,48	1,51	0,97	1,08	1,01	2,45
Sr	3,02	2,75	1,43	1,43	1,60	1,366
Ca	2,03	1,81	1,09	1,20	1,47	6592,8
Fe	1,44	1,20	1,06	1,16	1,26	62,10
Cd	1,39	1,24	0,67	0,93	0,97	0,107
Pb	1,30	0,96	1,02	1,36	0,85	2,149
Cu	1,24	0,97	1,30	1,19	1,14	1,469
Zn	1,01	0,99	0,74	0,64	0,83	29,40
Co	0,95	0,92	0,90	0,83	0,75	1,371
K	0,94	0,90	0,87	0,98	0,74	2966,1
Ni	0,23	0,10	0,17	0,08	0,10	1,909
Mn	0,06	0,05	0,08	0,26	0,22	49,80

Примечание: * содержание золы выражено в %, а зольных элементов – в мг/кг абсолютно сухого веса.

Значительно превышает фоновый уровень содержание в хвое, особенно однолетней, кадмия. Вблизи завода отмечается также повышенное содержание в хвое железа, цинка и свинца. Резко отличается от остальных элементов характер динамики марганца, который, являясь активным катализатором, повышает активность ферментных систем, ускоряет фотохимическое разложение воды, активизирует процессы синтеза витаминов, влияет на ассимиляцию нитратов и образование белков [16–18]. Содержание его в хвое неуклонно возрастает по мере удаления от источника загрязнения. Расстояние от источника загрязнения не оказывает в целом существенного влияния лишь на изменение содержания в хвое меди, кобальта и никеля. В двух- и трехлетней хвое на одном и том же расстоянии от завода содержится гораздо больше кальция, железа, свинца, а особенно стронция. В однолетней же хвое деревьев сосны, произрастающих в пределах всего градиента загрязнения, содержится гораздо больше марганца, а также калия, оказывающего положительное влияние на интенсивность ассимиляции углекислоты и регуляцию работы устьичного аппарата.

Морфометрические параметры хвои, как было установлено, изменяются по мере удаления от источника загрязнения незначительно и в целом бессистемно (табл. 5). Так, длина и масса однолетней хвои наибольших значений достигают на расстоянии 340 м от завода, а двух- и трехлетней – на 100–130 м. Степень повреждения хвои в пределах всей трансекты очень низкая, однако наиболее высокий балл отмечен не в зоне сильного загрязнения, как этого следовало бы ожидать, а на пятой точке.

Таблица 5

Изменение значений морфометрических параметров хвои по градиенту загрязнения

Параметр	Значение параметра на разном удалении от завода					
	100 м	130 м	190 м	280 м	340 м	1100 м
<i>Хвоя первого года жизни</i>						
Длина, мм	28,7	28,4	27,8	26,3	37,5	27,7
Масса 100 пар, г	1,62	1,27	1,09	0,87	1,76	1,22
Балл повреждения	1,07	1,08	1,08	1,12	1,26	1,03
<i>Хвоя второго года жизни</i>						
Длина, мм	48,2	52,2	50,5	44,3	50,6	44,5
Масса 100 пар, г	3,36	2,75	2,52	2,01	3,05	2,41
Балл повреждения	1,29	1,40	1,41	1,43	1,55	1,12
<i>Хвоя третьего года жизни</i>						
Длина, мм	60,5	56,6	57,4	50,3	55,4	56,0
Масса 100 пар, г	4,47	3,23	3,25	2,68	3,68	3,30
Балл повреждения	1,59	1,42	1,33	1,64	2,13	1,46

Связь между морфометрическими параметрами хвои и содержанием в ней большинства металлов слабая или же практически не выражена (табл. 6).

Тесная положительная связь существует только между длиной однолетней хвои и содержанием в ней меди, которая защищает хлорофилл от разрушения и входит в состав ферментов, принимающих участие в темновых реакциях фотосинтеза [16, 18]. Длина однолетней хвои обратно пропорциональна содержанию в ней калия и свинца, а двухлетней – марганца, однако теснота этих связей умеренная. Длина и масса трехлетней хвои прямо пропорциональны содержанию в ней цинка, железа и кальция.

Таблица 6

Связь между морфометрическими параметрами хвои и содержанием в ней зольных элементов

Параметр хвои	Значение коэффициента парной корреляции между параметрами хвои и элементами									
	Ca	K	Fe	Zn	Mn	Cu	Pb	Sr	Co	Ni
<i>Хвоя первого года жизни</i>										
Длина	-0,09	-0,62	-0,26	-0,24	-0,03	0,97	-0,60	-0,16	0,46	-0,40
Масса	0,47	-0,36	0,24	0,35	-0,26	0,66	-0,16	0,35	0,08	-0,03
Повреждение	-0,26	-0,58	-0,31	-0,49	-0,06	0,97	-0,59	-0,29	0,39	-0,69
<i>Хвоя второго года жизни</i>										
Длина	0,47	-0,31	-0,14	0,15	-0,72	0,50	0,26	0,55	-0,27	-0,38
Масса	0,70	-0,29	0,25	0,76	-0,46	0,11	0,61	0,66	-0,58	0,46
Повреждение	-0,02	-0,38	-0,08	-0,40	-0,55	0,98	-0,28	0,05	-0,26	-0,60
<i>Хвоя третьего года жизни</i>										
Длина	0,54	-0,14	0,41	0,71	-0,21	0,12	-0,18	0,57	0,50	0,14
Масса	0,68	-0,24	0,74	0,61	-0,22	0,22	0,01	0,61	0,21	0,02
Повреждение	0,16	-0,65	0,42	-0,16	-0,07	0,04	-0,23	-0,08	-0,77	-0,28

Содержание золы и большинства зольных элементов в образцах коры на прилегающем к заводу участке леса значительно превышает фоновый уровень (табл. 7). На первом месте по превышению концентрации над фоном находится, в отличие от образцов ткани и хвои, хром (в 9,33 раза), хотя абсолютное его содержание в коре очень мало. Велико также превышение содержания в коре железа (в 6,16 раза). Содержание кальция, который доминирует по массе в пылевых выбросах, превышает фоновый уровень в коре в 3,04–4,75 раза. В 1,9–2,28 раза выше фонового уровня на прилегающей к источнику загрязнения территории концентрация в коре деревьев свинца, стронция, калия, никеля и кобальта. Содержание меди немногим выше, а цинка, кадмия и марганца, наоборот, ниже, чем в фоне. Стабилизация содержания в коре большинства зольных элементов происходит на расстоянии 400–700 м от источника загрязнения, четко убывающая по мере удаления от него. Данной закономерности не подчиняются только кальций и кадмий, концентрация которых наиболее велика на расстоянии 190 м от завода.

Таблица 7

Изменение по градиенту загрязнения содержания золы и зольных элементов в коре деревьев

Элемент	Содержание элементов по отношению к фону на разном удалении от завода						Фоновое содержание элемента*
	100 м	130 м	190 м	280 м	340 м	390 м	
Зола	2,38	2,28	2,51	1,32	1,42	1,35	1,79
Cr	9,33	7,21	9,08	2,19	1,66	2,73	0,154
Fe	6,16	5,10	5,37	1,36	1,13	0,99	16,59
Ca	3,04	4,15	4,75	3,67	4,13	4,07	4349,0
Pb	2,28	2,23	2,24	1,12	1,53	1,23	0,505
Sr	2,15	2,01	1,70	0,94	0,89	0,89	12,39
K	1,97	1,99	1,16	1,69	0,98	0,71	121,1
Ni	1,96	1,92	1,44	1,08	1,15	0,51	0,096
Co	1,90	1,89	1,85	1,27	1,40	1,29	0,370
Cu	1,27	1,46	1,33	1,19	1,40	0,75	1,962
Zn	0,85	1,08	0,79	0,78	0,90	0,85	8,10
Cd	0,80	0,80	0,88	0,65	0,65	0,59	0,264
Mn	0,35	0,34	0,38	0,43	0,54	0,53	33,61

Примечание: * содержание золы выражено в %, а зольных элементов – в мг/кг абсолютно сухого веса.

Кора деревьев, как продукт деятельности камбия, с одной стороны, и как пористый инертный абсорбент, с другой, обладает избирательной способностью поглощения химических элементов из окружающей среды. В ней содержится гораздо больше калия, цинка и меди, чем в образцах хлопчатобумажной ткани, являющейся инертным поглотителем пыли. Степень избирательности поглощения элементов корой, однако, меньшая по сравнению с хвоей (табл. 8). Так, калия содержится в ней всего в 4,05 раза больше, чем в образцах ткани, а в хвое, как уже отмечалось, в 68,3 раза. По содержанию цинка значения коэффициента избирательности составляют 1,70 и 9,26 раза соответственно. В коре, по сравнению с образцами ткани, на прилегающем к заводу участке леса несколько выше также концентрация меди, марганца, хрома и стронция, а содержание кадмия, кобальта, свинца, железа, никеля и кальция, наоборот, ниже. Менее всего поглощается корой деревьев из выпадающей пыли кальция и никеля, избыток которых поступает в почву. По мере удаления от завода и снижения степени загрязнения среды величина соотношения концентрации элементов в коре и в образцах ткани в большинстве случаев существенно увеличивается. Это свидетельствует о том, что многие элементы поступают в кору деревьев в основном из почвы, а не за счет инертного поглощения выпадающей пыли. В коре, по сравнению с хвоей, содержится в пределах всего градиента загрязнения больше кадмия, кальция, а особенно стронция. Концентрация же остальных элементов, особенно калия, меньшая.

Таблица 8

Градиентное изменение значений коэффициента избирательности поглощения химических элементов из выпадающей пыли и накопления их в коре деревьев

Элемент	Значение содержания элементов в коре по отношению к ткани на разном удалении от завода						
	100 м	130 м	190 м	280 м	340 м	390 м	Фон – 1500 м
K	4,05	3,42	2,71	4,82	3,71	1,93	3,90
Zn	1,70	2,17	2,20	2,05	3,52	2,21	6,93
Cu	1,54	1,84	2,85	2,14	2,83	1,89	2,54
Mn	1,29	1,33	1,98	1,27	2,59	1,87	15,49
Cr	1,29	1,03	1,40	0,31	0,25	0,39	0,16
Sr	1,12	2,28	2,21	1,78	4,86	4,64	24,93
Cd	0,93	1,40	1,78	1,46	1,66	1,85	4,63
Co	0,93	1,45	1,62	1,33	1,98	1,90	2,28
Pb	0,69	1,09	1,22	0,72	1,37	1,00	1,12
Fe	0,48	0,54	0,75	0,22	0,26	0,25	0,35
Ni	0,44	0,72	0,60	0,51	0,16	0,33	0,79
Ca	0,39	0,96	1,70	1,46	2,38	5,43	18,20

Анализ полученного материала показал, что в древесине более всего содержится кальция (табл. 9), за которым с большим отставанием следуют калий и железо. Замыкают ранговый ряд кобальт, никель и кадмий. Содержание большинства зольных элементов на прилегающем к заводу участке леса незначительно отличается от фонового уровня (табл. 10), что свидетельствует о большой избирательности их поглощения растениями из окружающей среды. Значительно превышает фоновый уровень содержание лишь свинца и никеля, отмечаемое на расстоянии 190–340 м от завода. Содержание марганца в древесине, как в хвое и коре деревьев, на фоновом участке леса значительно выше, чем в загрязненной зоне, что свидетельствует о неблагоприятных для растений эдафических условиях, так как они стремятся к большей аккумуляции этого элемента при недостатке в почве фосфора [19].

Таблица 9

Изменение по градиенту загрязнения содержания золы и зольных элементов в древесине сосен

Расстояние, м	Зола, %	Содержание элементов в древесине, мг / кг										
		Ca	K	Fe	Zn	Sr	Mn	Cu	Pb	Co	Ni	Cd
<i>Содержание элементов в древесине молодых деревьев на ЛЭП (возраст 35 лет)</i>												
100	0,52	1953,7	354,9	33,6	9,91	4,16	1,93	1,101	0,662	0,241	0,104	0,113
190	0,52	2133,4	234,4	26,2	6,17	3,68	2,11	1,306	0,622	0,230	0,057	0,106
340	0,52	2085,2	359,7	28,3	7,31	3,40	2,70	0,850	0,617	0,216	0,026	0,125
1100	0,50	2065,7	282,8	14,5	8,00	3,38	11,25	1,120	0,629	0,233	0,062	0,119
<i>Содержание элементов в древесине молодого поколения деревьев под пологом леса (возраст 60 лет)</i>												
80	0,31	2196,2	260,1	9,6	5,17	2,58	1,92	0,786	0,383	0,170	0,023	0,069
100	0,36	1589,4	258,9	14,0	6,24	3,02	4,70	0,924	0,621	0,163	0,246	0,114
190	0,34	1898,5	209,0	15,8	6,36	2,26	5,34	0,879	1,313	0,302	0,450	0,127
340	0,30	1438,6	174,4	7,6	5,58	2,05	14,89	0,905	0,854	0,164	0,765	0,114
1500	0,32	1532,2	201,7	16,9	7,68	2,79	25,60	0,862	0,370	0,150	0,128	0,147
<i>Содержание элементов в древесине старого поколения деревьев, образовавшейся до пуска завода (возраст 110 лет)</i>												
100	0,33	1465,2	195,3	8,3	7,45	4,95	20,01	1,231	0,406	0,138	0,103	0,199
340	0,35	1506,8	138,6	11,1	6,76	4,54	24,61	0,957	0,450	0,142	0,308	0,087
1500	0,26	1323,9	86,3	11,1	6,47	4,86	21,40	1,140	0,307	0,126	0,061	0,111
<i>Содержание элементов в древесине старого поколения деревьев, образовавшейся после пуска завода (возраст 110 лет)</i>												
100	0,31	1423,5	335,4	8,9	5,20	1,40	3,89	1,035	0,648	0,222	0,151	0,161
190	0,30	1310,5	265,5	10,5	4,60	2,26	8,90	0,894	0,348	0,134	0,390	0,111
340	0,37	1513,4	283,0	13,4	4,80	1,94	10,64	1,247	0,526	0,196	0,276	0,088
1500	0,29	1186,5	302,7	13,4	5,19	1,61	16,14	0,880	0,379	0,149	0,061	0,184

Таблица 10

Градиентное изменение отношения содержания зольных элементов в древесине сосен

Элемент	Содержание элементов по отношению к фону на разном удалении от завода				Фоновое содержание элемента*
	80 м	100 м	190 м	340 м	
Зола	0,97	1,13	1,06	0,94	0,32
Ca	1,43	1,04	1,24	0,94	1532,2
K	1,29	1,28	1,04	0,86	201,7
Fe	0,57	0,83	0,93	0,45	16,9
Zn	0,67	0,81	0,83	0,73	7,68
Sr	0,93	1,08	0,81	0,74	2,79
Mn	0,07	0,18	0,21	0,58	25,6
Cu	0,91	1,07	1,02	1,05	0,862
Pb	1,04	1,68	3,55	2,31	0,370
Co	1,13	1,09	2,01	1,09	0,150
Ni	0,18	1,92	3,52	5,98	0,128
Cd	0,47	0,78	0,86	0,78	0,147

Примечание: * содержание золы выражено в %, а зольных элементов – в мг/кг абсолютно сухого веса.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что содержание некоторых зольных элементов в древесине старых деревьев, образовавшейся до и после пуска завода, различно. Так, до пуска завода в древесине было меньше калия, свинца, кобальта и никеля, но больше цинка, стронция и особенно марганца, содержание которого не отличалось от фонового уровня. Содержание в древесине остальных зольных элементов, в том числе и кальция, не изменилось после пуска завода. В древесине, по сравнению с хвоей и корой, содержание золы и большинства зольных элементов значительно ниже. Исключением являются лишь стронций и кадмий.

Выводы

1. В аэральных выбросах завода силикатного кирпича присутствует большой набор химических элементов, основным из которых является кальций. Его содержание в образцах хлопчатобумажной ткани на расстоянии 80 м от завода в 172,5 раза выше, чем на фоновом участке. На втором месте по превышению концентрации над фоном находится стронций (в 72,8 раза). Содержание остальных металлов в ткани на прилегающем к заводу участке в 2,42–7,19 раза выше по сравнению с фоновым уровнем.

2. Деревья, как живые объекты, обладают избирательной способностью поглощения химических элементов из окружающей среды, в результате чего зольный состав хвои, коры и древесины существенно отличается от зольного состава выбросов пыли. Содержание в древесине золы и большинства зольных элементов значительно ниже, чем в хвое и коре. Исключением являются лишь стронций и кадмий, которых в древесине содержится больше, чем в хвое. В древесине, по сравнению с корой, больше содержится калия и цинка.

3. Длина однолетней хвои прямо пропорциональна содержанию в ней меди и обратно пропорциональна – калия и свинца, а двухлетней – марганца, однако теснота этих связей умеренная. Длина и масса трехлетней хвои прямо пропорциональны содержанию в ней цинка, железа и кальция. Связь между морфометрическими параметрами хвои и содержанием в ней других зольных элементов слабая или же практически отсутствует.

4. Повышенное содержание кальция в зоне воздействия завода силикатного кирпича приводит к резкому снижению концентрации во всех тканях деревьев сосны (хвое, коре и древесине) марганца, который является, исходя из этого, хорошим индикатором известкового загрязнения среды.

5. Лучшими индикаторными способностями по оценке ответных реакций деревьев на загрязнение окружающей среды обладает хвоя деревьев, однако для оценки химического состава выбросов пыли и ареала их распространения лучше всего использовать полотнища хлопчатобумажной ткани, располагая их на разном удалении от источника загрязнения.

Список литературы

1. Кулагин, Ю.З. Индустриальная дендрэкология и прогнозирование / Ю.З. Кулагин. – М.: Наука, 1985 – 118 с.
2. Ярмишко, В.Т. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и ее сообщества в условиях атмосферного загрязнения на Европейском севере / В.Т. Ярмишко: Автореф. дисс. док. биол. наук. – СПб.: БИН РАН, 1994. – 36 с.
3. Цветков, В.Ф. Леса в условиях аэротехногенного загрязнения / В.Ф. Цветков, И.В. Цветков. – Архангельск, 2003. – 354 с.
4. Мартынюк, А.А. Сосновые экосистемы в условиях аэротехногенного загрязнения, их сохранение и реабилитация / А.А. Мартынюк: Автореф. дисс. ... док. с.-х. наук. – М.: МГУЛ, 2009. – 36 с.
5. Шелуха, В.П. Изменение сосновых биогеоценозов зоны широколиственных лесов при хроническом воздействии веществ щелочного типа / В.П. Шелуха: Автореф. дисс. ... док. с.-х. наук. – Брянск: БГИТА, 2003. – 34 с.
6. Алексеев, И.А. Влияние газопылевых выбросов на состояние сосновых биогеоценозов / И.А. Алексеев, А.Т. Сабиров, А.В. Михеев // Влияние атмосферного загрязнения и других антропогенных и природных факторов на дестабилизацию состояния лесов центральной и восточной Европы: Тез. докл. междунар. науч. конф. – М.: МЛТИ, 1996. – Т.1. – С. 41-43.
7. Ярмишко, В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на европейском Севере / В.Т. Ярмишко. – СПб.: Наука, 1997. – 210 с.
8. Ярмишко, В.Т. Крона дерева как индикатор его состояния в условиях техногенного загрязнения окружающей среды / В.Т. Ярмишко // Проблемы экологии растительных сообществ Севера. – СПб.: ООО «ВВМ», 2005. – С. 28-57.
9. Лянгузова, И.В. Содержание химических элементов в различных фракциях фитомассы сосны / И.В. Лянгузова // Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова. – Л.: Наука, 1990. – С. 48-55.
10. Лянгузова, И.В. Химический состав растений при атмосферном и почвенном загрязнении / И.В. Лянгузова, О.Г. Чертов // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. – Л.: Наука, 1990. – С. 75-87.
11. Лукина, Н.В. Химический состав хвои сосны на Кольском полуострове / Н.В. Лукина, В.В. Никонов, Х. Райтио // Лесоведение. – 1994. – № 6. – С. 10-21.
12. Никонов, В.В. Химический состав сосны на северном пределе распространения (Кольский полуостров) / В.В. Никонов, П.А. Баскова, И.И. Сизов // Дендрологические исследования в Заполярье. – Апатиты: КНЦ АН СССР, 1987. – С. 62-75.
13. Демаков, Ю.П. Хвоя как индикатор состояния сосновых молодняков на олиготрофных болотах / Ю.П. Демаков, М.Г. Сафин, Р.И. Винокурова, В.И. Таланцев, С.М. Швецов // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 3. – С. 95-107.
14. Методика выполнения измерений валового содержания меди, кадмия, цинка, свинца, никеля, марганца, кобальта, хрома методом атомно-абсорбционной спектроскопии. – М.: ФГУ ФЦАО, 2007. – 20 с.
15. Методы биогеохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. Л.: Агропромиздат, 1987. – 450 с.
16. Крамер, Л. Физиология древесных растений / Л. Крамер, Т. Козловский. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 628 с.
17. Ахромейко А.И. Физиологические обоснования создания устойчивых лесных насаждений / А.И. Ахромейко. – М.: Лесная промышленность, 1965. – 312 с.

18. Смольянинов, И.И. Как и чем питается лес / И.И. Смольянинов, О.А. Климова. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 120 с.

19. Чагина, Е.Г. Биологический круговорот в сосняках разной продуктивности / Е.Г. Чагина // Почвенные факторы продуктивности сосняков. – Новосибирск: Наука, 1976. – С. 168-189.

Статья поступила в редакцию 20.04.12.

Работа выполнена в химической лаборатории Центра коллективного пользования научным оборудованием ПГТУ «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей».

Yu. P. Demakov, S. M. Shvetsov, M. I. Maishanova

ASH CONTENT CHANGES IN NEEDLE, RIND AND WOOD OF THE SCOTCH PINE WITHIN THE ZONE OF A SAND - LIME BRICK PLANT EMISSIONS

The data, characterizing ash content of needle, rind, wood of Scotch pine in accordance with the gradient of environment pollution with air emissions of the Sand -lime brick plant (Republic of Mari El) are given. It is determined that needles have the best indicative capacities in estimation of trees responses to environment pollution, but to make an estimation of chemical composition of dust emissions the best thing is to use cotton cloth.

Key words : *Scotch pine, needle, rind, wood, ash content, lime dust emissions.*

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры управления природопользованием и лесозащиты Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – биогеоценология, дендрохронология. Автор 238 работ, в том числе четырех монографий и пяти учебных пособий.

E-mail: DemakovYP@volgatech.net

ШВЕЦОВ Сергей Михайлович – лаборант кафедры химии, аспирант Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – экология, биогеохимия. Автор семи публикаций.

E-mail: shvecov86@gmail.com

МАЙШАНОВА Маргарита Ивановна – аспирант Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – экология, биогеоценология. Автор семи публикаций.

E-mail: maishanova@rambler.ru