

УДК 630\*18 + 630\*160.21 (470.343)

*Ю. П. Демаков, М. Г. Сафин, Р. И. Винокурова,  
В. И. Таланцев, С. М. Швецов*

## **ХВОЯ КАК ИНДИКАТОР СОСТОЯНИЯ СОСНОВЫХ МОЛОДНЯКОВ НА ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТАХ**

*Приведены данные, характеризующие пределы и закономерности изменчивости морфометрических, физиологических и химических параметров хвои сосновых молодняков на олиготрофных болотах Марийского Полесья, а также их взаимосвязь между собой и с состоянием деревьев. Установлено, что основным фактором изменчивости практически всех параметров хвои являются индивидуальные особенности деревьев. Вторым по значимости фактором является возраст хвои.*

***Ключевые слова:** олиготрофные болота, сосна, хвоя, морфологические, физиологические и химические параметры, изменчивость.*

**Введение.** Усиливающееся с каждым годом техногенное воздействие на биосферу обусловило необходимость ведения мониторинга за состоянием окружающей среды, в том числе и лесных биогеоценозов, оценку жизнеспособности которых чаще всего проводят по степени развития ассимиляционного аппарата деревьев, чутко реагирующего на различные внешние воздействия. Установлено, к примеру, что надежными показателями состояния деревьев сосны обыкновенной, устойчивости их к биотическим факторам и степени воздействия на них промышленных выбросов являются многие морфологические, физиологические и фитопатологические параметры хвои [1–10]. Индустриальное загрязнение среды вызывает также изменение содержания в хвое ряда химических элементов и баланса между ними [11–13].

Неотъемлемой частью лесных ландшафтов часто являются болота, на которых формируются специфичные фитоценозы, виды которых приспособлены к обитанию в крайне жестких эдафических условиях, характеризующихся высокой кислотностью грунтовых вод, недостатком в них кислорода и элементов минерального питания, повышенным содержанием железа и марганца, что отражается на параметрах состояния растений и скорости их метаболизма. Несмотря на давний интерес исследователей к этим биогеоценозам, играющим важную экологическую роль в функционировании биосферы, особенно в депонировании углерода, и огромный накопленный материал, вопросы листовой диагностики состояния обитающих здесь деревьев раскрыты довольно слабо [14, 15], что и послужило основанием для проведения исследований.

**Объекты и методика.** Исходный материал собран в 2008–2009 гг. в сосновых молодняках на олиготрофном болоте «Илюшкино» (кв. 34 Старожильского лесничества Республики Марий Эл) в двух различных биотопах. Первый из них представлен ослабленным загущенным разновозрастным древостоем (состав 93С7Б, густота 15,2 тыс. экз./га, Н = 4,8 м, D = 4,0 см), возникшим на гари 1972 года, второй – здоровым, условно разновозрастным (состав 95С5Б, густота 4,1 тыс. экз./га, Н = 2,1 м, D = 3,0 см), воз-

никшим на вырубке 1988 года. Образцы хвои брали в два срока (09.12.2008 и 27.02.2009 г.) с двухлетних боковых побегов у различных по биометрическим показателям деревьев сосны (табл. 1), укладывали в полиэтиленовые мешки и этикетировали. Одновременно вели ведомость учета биометрических показателей деревьев. Сразу же после возвращения из леса или же на следующий день проводили ошипывание хвои с побегов, взвешивание образцов на электронных весах с погрешностью  $\pm 1$  мг (исходная масса образцов изменялась от 9 до 30 г), измерение длины у 15 средних по размеру хвоинок. После этого образцы хвои высушивали до абсолютно сухого состояния при температуре  $110^{\circ}\text{C}$ , измельчали и сжигали в муфельной печи при температуре  $450^{\circ}\text{C}$ . Содержание химических элементов (Mg, Mn, Zn, Fe, Pb, Cu, Ni, Cd) в золе определяли по стандартной методике [16] на атомно-абсорбционном спектрометре AAnalyst 400. Для пересчета использовали формулу

$$C_{\Sigma} = C_{\text{P}} \times V_{\text{P}} \times M_{\Sigma} / M_{\text{H}} \times M_{\text{C}},$$

где  $C_{\Sigma}$  – содержание элемента в сухой хвое, мг/кг;  $C_{\text{P}}$  – содержание элемента в растворе, мг/л;  $V_{\text{P}}$  – объем раствора, в котором была растворена зола;  $M_{\Sigma}$  – масса золы, г;  $M_{\text{H}}$  – масса навески, г;  $M_{\text{C}}$  – масса высушенного образца, г. Цифровой материал обработан на ПК с использованием стандартных методов математической статистики [17–19].

Т а б л и ц а 1

**Объем выборки и биометрические показатели  
учетных деревьев на объектах исследований**

Дата учета	Биотоп	Число учетных деревьев, шт.	Размеры учетных деревьев (min – max)		Прирост верхушечного побега (min – max), см	
			Высота, м	Диаметр, см*	2007 г.	2008 г.
09.12.2008 г.	Вырубка	15	1,8 – 4,8	2,5 – 10,5	10,0 – 44,0	11,0 – 49,0
27.02.2009 г.	Вырубка	12	2,3 – 3,6	3,0 – 7,5	14,0 – 37,0	13,0 – 47,0
27.02.2009 г.	Гарь	15	1,5 – 4,1	3,2 – 8,7	4,5 – 15,0	4,0 – 16,0

**Примечание:** диаметр измерен у основания ствола.

**Результаты исследования.** Анализ полученного материала показал, что значения всех морфометрических и физиологических параметров хвои сосновых молодняков на олиготрофных болотах Марийского Полесья имеют довольно высокую изменчивость (табл. 2). Особенно высока вариабельность веса хвоинок. Меньше всего изменяется влажность и зольность хвои. Основной фактор изменчивости – индивидуальные особенности деревьев, определяющие 48,4...85,1% исходной дисперсии параметров (табл. 3). Биотопы достоверно различаются между собой только по длине и весу хвоинок (табл. 4). Возраст хвои оказывает наибольшее влияние на изменение ее влажности.

Т а б л и ц а 2

**Изменчивость морфологических и физиологических  
параметров хвои сосновых молодняков**

Параметр	Значения статистик параметров						
	N	$M_x$	Min	Max	$S_x$	$m_x$	V, %
Длина хвоинок, мм	1095	40,0	18,0	65,0	8,0	0,24	20,1
Вес 100 пар хвоинок, г*	69	2,14	0,87	4,22	0,64	0,08	29,8
Влажность, %**	69	133,6	88,5	193,1	22,5	2,7	16,9
Зольность, %	69	2,28	1,46	3,37	0,35	0,042	15,2

**Примечание:** \* – в абсолютно сухом состоянии; \*\* – по отношению к абсолютно сухому весу хвои.

Т а б л и ц а 3

**Результаты дисперсионного анализа изменчивости  
параметров хвои сосновых молодняков**

Параметр	Фактор дисперсии и значения его параметров ( $F_{0,05} = 4,15$ )				
	Условия биотопа		Возраст хвои		Доля влияния деревьев, %
	$F_{\text{факт.}}$	Доля влияния, %	$F_{\text{факт.}}$	Доля влияния, %	
Длина хвоинок	<b>39,95</b>	43,8	<b>7,16</b>	7,8	48,4
Вес 100 пар хвоинок	<b>17,45</b>	26,2	<b>4,37</b>	6,6	67,2
Влажность	<b>4,58</b>	7,0	<b>17,07</b>	25,9	67,1
Зольность	2,55	4,9	<b>5,15</b>	10,0	85,1

Т а б л и ц а 4

**Морфометрические и физиологические параметры хвои  
сосновых молодняков в разных биотопах**

Параметр	Значения параметров в разных биотопах и их различия					
	Гарь 1972 года		Вырубка 1988 года		Критерий Стьюдента	
	N	$M_x \pm m_x$	N	$M_x \pm m_x$	$t_{\text{факт.}}$	$t_{0,05}$
<b>Однолетняя хвоя</b>						
Длина хвоинок, мм	225	$35,8 \pm 0,36$	180	$42,0 \pm 1,51$	<b>5,15</b>	1,97
Вес 100 пар хвоинок, г*	15	$1,65 \pm 0,10$	27	$2,24 \pm 0,13$	<b>3,64</b>	2,02
Влажность, %**	15	$143,1 \pm 4,83$	12	$130,7 \pm 4,03$	1,97	2,06
Зольность, %	15	$2,09 \pm 0,05$	12	$2,23 \pm 0,08$	1,48	2,06
<b>Двухлетняя хвоя</b>						
Длина хвоинок, мм	225	$33,0 \pm 0,40$	180	$46,1 \pm 1,79$	<b>7,14</b>	1,97
Вес 100 пар хвоинок, г*	15	$1,86 \pm 0,09$	12	$2,68 \pm 0,19$	<b>3,84</b>	2,06
Влажность, %**	15	$121,2 \pm 2,40$	12	$112,2 \pm 6,52$	1,30	2,06
Зольность, %	15	$2,32 \pm 0,08$	12	$2,44 \pm 0,14$	0,74	2,06

**Примечание:** \* – в абсолютно сухом состоянии; \*\* – по отношению к абсолютно сухому весу хвои.

Значительно изменяется также в хвое содержание металлов (табл. 5). Особенно высока вариабельность содержания никеля, цинка и марганца. Меньше всего изменяется содержание в хвое магния, который занимает лидирующее положение в ранговом ряду оцененных нами металлов. Какой-либо связи между содержанием металлов и коэффициентом его вариации не отмечается.

Т а б л и ц а 5

**Изменчивость содержания металлов в хвое сосновых молодняков, мг/кг**

Металл	Значения статистических показателей ( N = 69 )					
	$M_x$	Min	Max	$S_x$	$m_x$	V, %
Mg	1988,0	530,0	3091,6	555,2	66,8	27,9
Mn	277,1	85,7	846,1	141,4	17,0	<b>51,0</b>
Zn	56,4	30,8	169,1	22,0	2,6	<b>56,4</b>
Fe	37,3	18,1	68,1	11,8	1,4	31,5
Pb	2,85	1,56	9,00	0,96	0,12	33,7
Cu	2,11	0,69	5,85	0,90	0,11	42,5
Ni	1,41	0,26	5,65	0,99	0,12	<b>70,2</b>
Cd	0,34	0,17	0,93	0,10	0,01	30,3

Главный фактор изменчивости содержания металлов, как и морфологических параметров хвои, – индивидуальные особенности деревьев (табл. 6). Исключением из этого правила является железо, вариабельность содержания которого в основном определяется возрастом хвои, в процессе старения которой происходит накопление этого металла (табл. 7). В двухлетней хвое значительно больше и других металлов, особенно марганца и цинка, а содержание магния, наоборот, ниже, что согласуется с данными других исследователей [12, 20, 21].

Т а б л и ц а 6

## Результаты дисперсионного анализа изменчивости содержания металлов в сосновой хвое

Металл	Фактор дисперсии и значения его параметров ( $F_{0,05} = 4,15$ )				
	условия биотопа		возраст хвои		доля влияния деревьев, %
	$F_{\text{факт.}}$	доля влияния, %	$F_{\text{факт.}}$	доля влияния, %	
Mg	0,36	0,5	<b>20,88</b>	29,2	70,3
Mn	2,13	4,1	<b>6,33</b>	12,1	83,8
Zn	<b>9,11</b>	12,4	<b>19,10</b>	26,0	66,6
Fe	0,24	0,1	<b>117,6</b>	71,2	28,7
Pb	<b>7,91</b>	12,9	<b>8,62</b>	14,1	73,0
Cu	2,34	5,0	0,08	0,2	94,8
Ni	0,00	0,0	0,02	0,1	99,9
Cd	0,49	1,1	0,02	0,1	98,8

Т а б л и ц а 7

## Различие в содержании металлов в сосновой хвое разного возраста

Металл	Содержание металлов ( $M_x \pm m_x$ мг/кг) и достоверность различия между годами появления хвои					
	гарь 1972 года ( $t_{0,05} = 2,05$ )			вырубка 1988 года ( $t_{0,05} = 2,02$ )		
	2008 г.	2007 г.	$t_{\text{факт.}}$	2008 г.	2007 г.	$t_{\text{факт.}}$
Mg	2128,4 ± 115,8	1803,6 ± 116,4	1,98	2289,0 ± 76,5	1365,9 ± 157,9	<b>5,26</b>
Mn	210,9 ± 19,6	309,1 ± 28,2	<b>2,86</b>	251,5 ± 23,0	377,1 ± 62,8	1,88
Zn	41,2 ± 1,59	58,1 ± 4,18	<b>3,78</b>	51,8 ± 2,10	83,8 ± 9,70	<b>3,22</b>
Fe	33,3 ± 0,76	48,9 ± 1,80	<b>7,98</b>	27,1 ± 0,77	50,8 ± 2,68	<b>8,50</b>
Pb	2,29 ± 0,09	2,70 ± 0,12	<b>2,73</b>	3,06 ± 0,24	3,28 ± 0,25	0,63
Cu	1,82 ± 0,27	2,12 ± 0,34	0,69	2,23 ± 0,13	2,20 ± 0,13	0,16
Ni	0,92 ± 0,073	1,56 ± 0,313	1,99	1,79 ± 0,213	0,97 ± 0,248	<b>2,51</b>
Cd	0,35 ± 0,043	0,34 ± 0,020	0,21	0,32 ± 0,014	0,34 ± 0,027	0,66

Биотопы также достоверно различаются между собой по содержанию в хвое ряда металлов (табл. 8). Так, на вырубке содержание цинка и свинца в хвое значительно выше, чем на гари, что связано, вероятно, с близким расположением первого из этих биотопов к автомагистрали. В однолетней хвое на вырубке более высоко также содержание никеля, а железа, наоборот, ниже. Двухлетняя же хвоя в данном биотопе отличается пониженным содержанием магния.

Анализ собранного нами материала показал, что характер распределения содержания металлов в хвое сосновых молодняков, произрастающих на олиготрофных болотах Марийского Полесья, находящихся вдали от промышленных центров, совершенно иной, чем в зонах воздействия крупных промышленных загрязнителей [7, 8, 11, 12]. Так, магния и цинка в 2–2,5 раза выше, а железа, меди и никеля на порядок ниже, чем в сосняках Кольского полуострова в зоне воздействия комбинатов «Печенганикель» и «Североникель». По содержанию марганца наши сосняки существенно не отличаются от древостоев в зонах промышленного загрязнения.

Т а б л и ц а 8

## Содержание металлов в хвое сосновых молодняков в разных биотопах

Металл	Содержание металлов ( $M_x \pm m_x$ мг/кг) и достоверность различия между биотопами					
	однолетняя хвоя ( $t_{0,05} = 2,02$ )			двухлетняя хвоя ( $t_{0,05} = 2,06$ )		
	гарь	вырубка	$t_{\text{факт.}}$	гарь	вырубка	$t_{\text{факт.}}$
Mg	2128,4 ± 115,8	2289,0 ± 76,5	1,16	1803,6 ± 116,4	1365,9 ± 157,9	<b>2,23</b>
Mn	210,9 ± 19,6	251,5 ± 23,0	1,34	309,1 ± 28,2	377,1 ± 62,8	0,99
Zn	41,2 ± 1,59	51,8 ± 2,10	<b>4,02</b>	58,1 ± 4,18	83,8 ± 9,70	<b>2,43</b>
Fe	33,3 ± 0,76	27,1 ± 0,77	<b>5,73</b>	48,9 ± 1,80	50,8 ± 2,68	0,59
Pb	2,29 ± 0,09	3,06 ± 0,24	<b>3,01</b>	2,70 ± 0,12	3,28 ± 0,25	<b>2,09</b>
Cu	1,82 ± 0,27	2,23 ± 0,13	1,37	2,12 ± 0,34	2,20 ± 0,13	0,22
Ni	0,92 ± 0,073	1,79 ± 0,213	<b>3,86</b>	1,56 ± 0,313	0,97 ± 0,248	1,48
Cd	0,35 ± 0,043	0,32 ± 0,014	0,66	0,34 ± 0,020	0,34 ± 0,027	0,00

Т а б л и ц а 9

## Матрица коэффициентов корреляции между содержанием металлов в однолетней хвое

Металл	Значение коэффициента парной корреляции между металлами						
	Mg	Mn	Zn	Fe	Pb	Cu	Ni
Гарь 1972 года (N = 15)							
Mg	1,000						
Mn	0,289	1,000					
Zn	0,401	0,085	1,000				
Fe	0,313	0,222	0,217	1,000			
Pb	0,013	<b>-0,550</b>	0,223	0,454	1,000		
Cu	0,086	-0,279	0,130	-0,156	0,299	1,000	
Ni	-0,156	-0,215	0,285	-0,058	0,192	<b>0,684</b>	1,000
Cd	<b>0,651</b>	0,450	0,169	0,325	0,033	-0,039	-0,364
Вырубка 1988 года (N = 31)							
Mg	1,000						
Mn	0,066	1,000					
Zn	<b>0,437</b>	<b>0,534</b>	1,000				
Fe	0,164	<b>0,454</b>	<b>0,479</b>	1,000			
Pb	0,065	0,135	0,181	0,028	1,000		
Cu	0,047	<b>0,365</b>	<b>0,503</b>	<b>0,474</b>	0,214	1,000	
Ni	-0,291	0,072	-0,227	0,105	-0,188	-0,170	1,000
Cd	0,255	0,126	<b>0,517</b>	0,087	0,206	0,090	-0,223

Важным условием нормального функционирования хвои является не только содержание в ней того или иного элемента, но и сбалансированность химического состава, поскольку одни из них могут либо ингибировать, либо стимулировать поглощение растениями других [12, 22–25]. Так, к примеру, железо антагонистически взаимодействует с цинком и марганцем: с увеличением его содержания происходит обеднение тканей хвои этими металлами. Уменьшение содержания цинка может быть обусловлено также повышением содержания меди. Результаты нашего исследования показали, что между содержанием в хвое разных металлов отмечается в основном довольно слабая взаимосвязь (табл. 9 и 10). Большое влияние на тесноту взаимосвязей оказывают возраст хвои и условия биотопа, различающиеся между собой, в частности, по химическому составу грунтовых вод [26]. В однолетней хвое сосновых молодняков на гарь 1972

года достоверно установлено наличие антагонистических отношений между марганцем и свинцом, а в двухлетней – между магнием и железом. На вырубке достоверность наличия антагонистических отношений не доказана. Положительные взаимосвязи между зольными элементами в хвое проявляются гораздо чаще. Так, в однолетней хвое на гари эти отношения достоверно установлены между парами Mg–Cd и Cu–Ni. На вырубке в хвое этого же возраста положительных взаимосвязей гораздо больше. В двухлетней хвое сосновых молодняков на гари достоверность наличия положительных отношений между элементами не доказана, а на вырубке достоверно установлен этот тип взаимосвязи между парами Mn–Cu, Fe–Pb, Pb–Cd и Cu–Cd. Химические элементы по их содержанию в хвое разного возраста и разных биотопов объединяются между собой в совершенно разные кластеры (рис. 1 и 2).

Т а б л и ц а 10

**Матрица коэффициентов корреляции между  
содержанием металлов в двухлетней хвое**

Металл	Значение коэффициента парной корреляции между металлами						
	Mg	Mn	Zn	Fe	Pb	Cu	Ni
Гарь 1972 года (N = 15)							
Mg	1,000						
Mn	-0,147	1,000					
Zn	0,207	-0,026	1,000				
Fe	<b>-0,602</b>	0,415	-0,132	1,000			
Pb	0,406	-0,117	0,219	-0,172	1,000		
Cu	-0,047	0,130	-0,020	0,468	-0,343	1,000	
Ni	-0,204	0,029	-0,303	-0,018	0,005	-0,125	1,000
Cd	0,207	0,449	0,132	-0,081	0,354	-0,197	-0,255
Вырубка 1988 года (N = 12)							
Mg	1,000						
Mn	-0,350	1,000					
Zn	-0,020	0,418	1,000				
Fe	-0,314	0,382	0,325	1,000			
Pb	0,239	0,032	0,043	<b>0,626</b>	1,000		
Cu	-0,170	<b>0,590</b>	0,538	0,513	0,566	1,000	
Ni	0,563	-0,520	0,072	-0,440	-0,023	-0,127	1,000
Cd	0,059	0,057	0,173	0,542	<b>0,841</b>	<b>0,694</b>	0,122

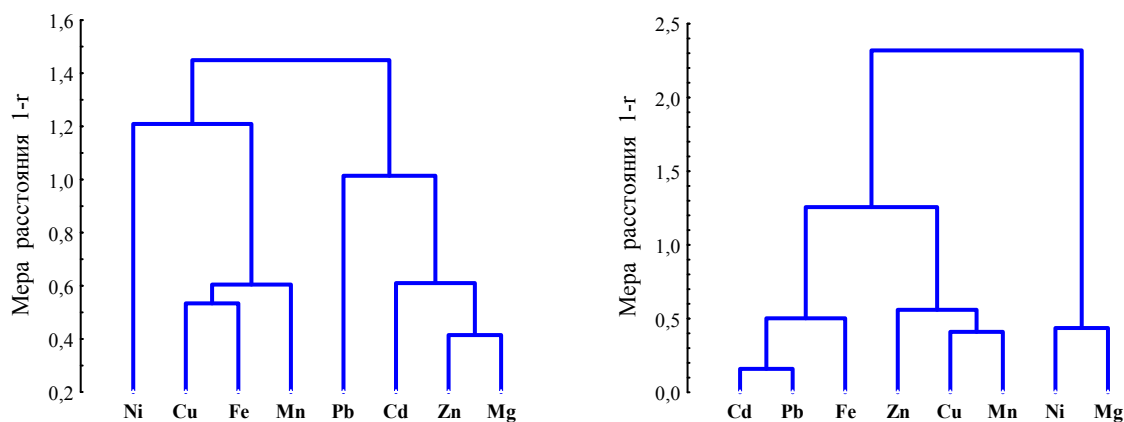


Рис. 1. Дендрограммы сходства содержания химических элементов в однолетней (слева) и двухлетней хвое (справа) сосновых молодняков на вырубке в олиготрофном болоте

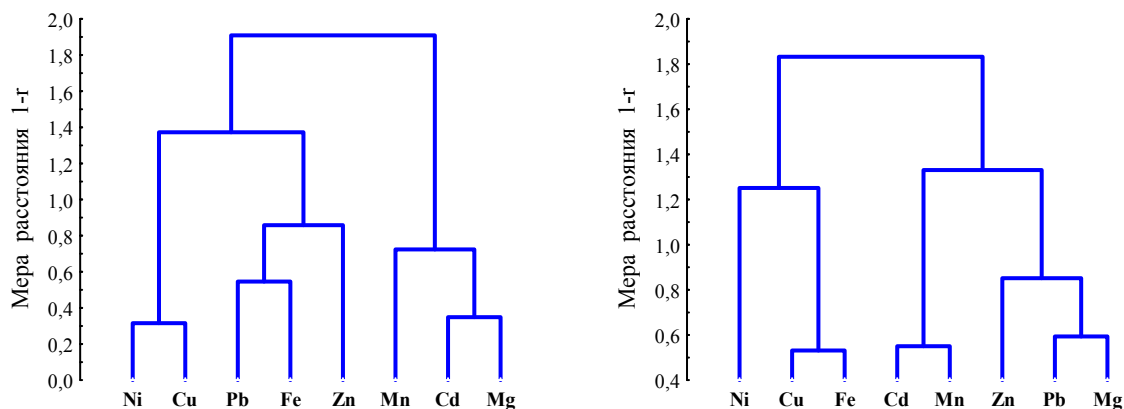


Рис. 2. Дендрограммы сходства содержания химических элементов в однолетней (слева) и двухлетней хвое сосновых молодняков на гари в олиготрофном болоте

Т а б л и ц а 11

**Изменчивость соотношения содержания металлов  
в хвое сосновых молодняков, доля единицы**

Соотношение металлов	Значения статистических показателей ( N = 69 )					
	$M_x$	Min	Max	$S_x$	$m_x$	V, %
Mg / Mn	9,40	1,16	29,83	5,85	0,70	62,3
Mg / Zn	39,17	6,40	72,59	14,63	1,76	37,3
Mg / Fe	60,76	11,71	118,98	27,86	3,35	45,8
Mn / Zn	5,08	1,23	11,22	2,27	0,27	44,8
Mn / Fe	7,62	2,09	17,51	3,40	0,41	44,7

Соотношение содержания металлов в хвое не является стабильным, а подвержено весьма значительным изменениям (табл. 11). Особенно высока вариабельность соотношения магния и марганца, а меньше всего изменяется соотношение между магнием и цинком. Главным фактором изменчивости соотношения содержания металлов, особенно Mg/Mn, Mn/Zn и Mn/Fe, являются в большинстве случаев индивидуальные особенности деревьев (табл. 12). Исключением из этого правила является соотношение между магнием и цинком, вариабельность значений которого определяется в основном условиями биотопа. Установлено достоверное влияние на величину пропорций Mg/Mn, Mg/Zn и Mg/Fe возраста хвои: в однолетней хвое их значение в 1,61...3,03 раза выше, чем в двухлетней (табл. 13). Биотопы достоверно различаются между собой по величине отношения Mg/Zn, Mg/Fe и Mn/Fe в однолетней хвое и отношения Mg/Zn в двухлетней хвое (табл. 14, рис. 3).

Т а б л и ц а 12

**Результаты дисперсионного анализа изменчивости  
соотношения содержания металлов в хвое**

Соотношение металлов	Фактор дисперсии и значения его параметров ( $F_{0,05} = 4,15$ )				
	условия биотопа		возраст хвои		доля влияния деревьев, %
	$F_{\text{факт.}}$	доля влияния, %	$F_{\text{факт.}}$	доля влияния, %	
Mg / Mn	0,02	0,0	<b>13,38</b>	23,0	77,0
Mg / Zn	<b>12,33</b>	8,9	<b>79,57</b>	57,4	33,7
Mg / Fe	0,87	0,7	<b>72,80</b>	57,0	42,3
Mn / Zn	0,66	1,5	0,03	0,1	98,4
Mn / Fe	3,36	6,9	0,60	1,2	91,9

Т а б л и ц а 13

**Различие в соотношении содержания металлов в сосновой хвое разного возраста**

Соотношение металлов	Соотношение содержания металлов и достоверность различия между годами появления хвои					
	гарь 1972 года ( $t_{0,05} = 2,05$ )			вырубка 1988 года ( $t_{0,05} = 2,02$ )		
	2008 г.	2007 г.	$t_{\text{факт.}}$	2008 г.	2007 г.	$t_{\text{факт.}}$
Mg / Mn	11,38 ± 1,22	6,82 ± 0,98	<b>2,91</b>	11,53 ± 1,25	5,35 ± 1,36	<b>3,34</b>
Mg / Zn	52,06 ± 2,43	32,34 ± 2,48	<b>5,68</b>	45,27 ± 1,55	17,87 ± 2,26	<b>9,98</b>
Mg / Fe	64,00 ± 3,29	38,34 ± 3,64	<b>5,23</b>	85,83 ± 3,36	28,35 ± 4,36	<b>10,44</b>
Mn / Zn	5,21 ± 0,54	5,66 ± 0,65	0,53	4,84 ± 0,41	4,73 ± 0,76	0,13
Mn / Fe	6,34 ± 0,56	6,30 ± 0,54	0,05	9,18 ± 0,73	7,35 ± 1,13	1,36

Т а б л и ц а 14

**Соотношение содержания металлов в хвое сосновых молодняков в разных биотопах**

Соотношение металлов	Соотношение содержания металлов и достоверность различия между биотопами					
	однолетняя хвоя ( $t_{0,05} = 2,02$ )			двухлетняя хвоя ( $t_{0,05} = 2,06$ )		
	гарь	вырубка	$t_{\text{факт.}}$	гарь	вырубка	$t_{\text{факт.}}$
Mg / Mn	11,38 ± 1,22	11,53 ± 1,25	0,84	6,82 ± 0,98	5,35 ± 1,36	0,88
Mg / Zn	52,06 ± 2,43	45,27 ± 1,55	<b>2,36</b>	32,34 ± 2,48	17,87 ± 2,26	<b>4,31</b>
Mg / Fe	64,00 ± 3,29	85,83 ± 3,36	<b>4,64</b>	38,34 ± 3,64	28,35 ± 4,36	1,76
Mn / Zn	5,21 ± 0,54	4,84 ± 0,41	0,54	5,66 ± 0,65	4,73 ± 0,76	0,93
Mn / Fe	6,34 ± 0,56	9,18 ± 0,73	<b>3,09</b>	6,30 ± 0,54	7,35 ± 1,13	0,84

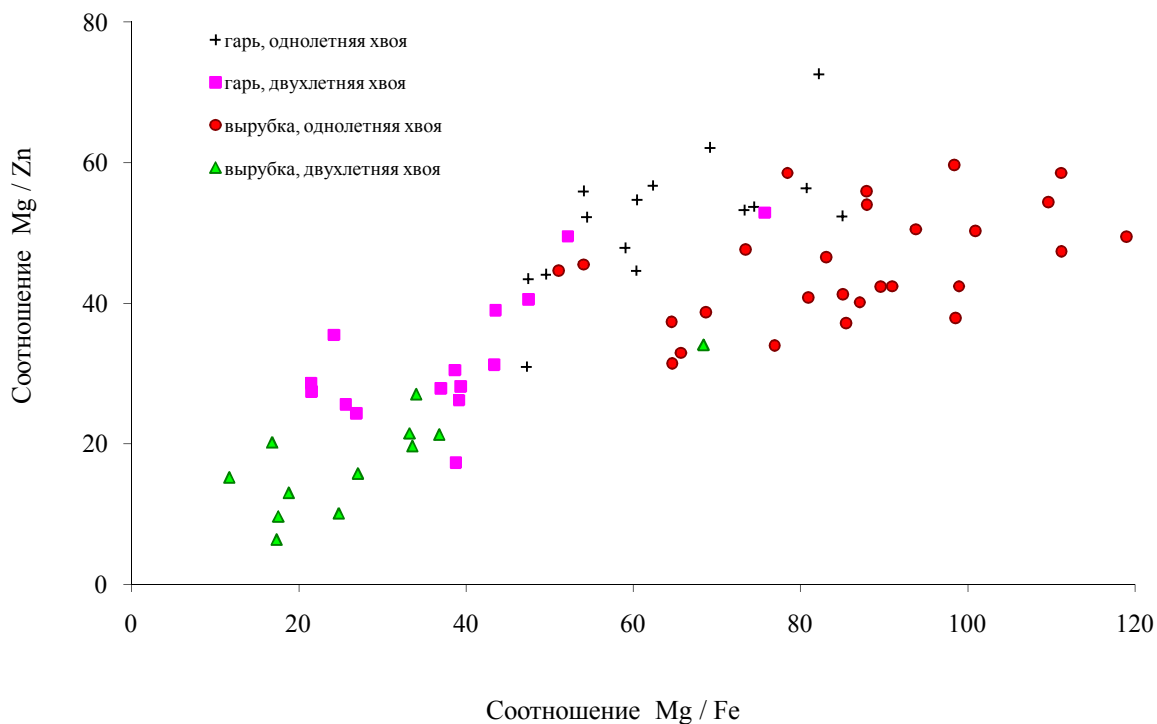


Рис. 3. Области рассеивания эмпирических точек в пространстве значений соотношения содержания металлов в хвое сосновых молодняков на олиготрофных болотах



Оценка параметров состояния хвои важна не сама по себе, а для диагностики жизнеспособности деревьев и древостоев в целом. Результаты исследований показали, что значения многих параметров хвои не зависят от размеров деревьев и слабо связаны в большинстве случаев с величиной текущего годичного прироста в высоту (табл. 15). Тесно связаны с приростом лишь длина и вес хвоинок, что является вполне естественным, поскольку величина этих параметров определяется одним и тем же фактором – запасом питательных веществ, накопленных растениями в предшествующий их образованию год [24]. Вместе с тем, ни длина, ни вес хвоинок не могут являться индикаторами производительности древостоя, а тем более наследственных свойств особей, как это констатируют некоторые исследователи [1, 3, 27], т.к. они отражают только *текущее состояние деревьев*.

Т а б л и ц а 15

**Влияние размеров деревьев и величины их прироста  
в высоту на параметры состояния хвои**

Параметр	Значения коэффициентов корреляции между параметрами				
	высота деревьев (H)	диаметр деревьев (D)	отношение H / D <sup>2</sup>	прирост в высоту	
				2008 года	2007 года
Однолетняя хвоя 2008 года (N = 42)					
Длина хвоинок	0,172	0,016	0,091	<b>0,705</b>	<b>0,675</b>
Вес 100 пар хвоинок	<b>0,312</b>	0,237	-0,162	<b>0,730</b>	<b>0,703</b>
Влажность хвои	-0,116	0,007	-0,094	0,102	0,081
Зольность хвои	-0,046	0,077	-0,126	0,170	0,218
Содержание Mg	-0,169	<b>-0,339</b>	<b>0,382</b>	-0,064	-0,104
Содержание Mn	0,108	-0,013	0,210	0,217	0,094
Содержание Zn	0,124	-0,094	0,303	<b>0,457</b>	0,306
Содержание Fe	-0,100	-0,009	0,060	<b>-0,429</b>	<b>-0,499</b>
Содержание Pb	-0,148	-0,135	0,121	0,142	0,113
Содержание Cu	-0,009	-0,118	0,130	<b>0,358</b>	0,295
Содержание Ni	0,174	0,168	-0,150	<b>0,349</b>	<b>0,410</b>
Содержание Cd	-0,139	-0,143	0,135	-0,128	-0,158
Соотношение Mg / Mn	-0,115	-0,077	-0,061	-0,081	0,045
Соотношение Mg / Zn	-0,300	-0,200	0,008	<b>-0,570</b>	<b>-0,453</b>
Соотношение Mg / Fe	-0,033	-0,196	0,190	0,220	0,252
Соотношение Mn / Zn	0,031	0,056	0,028	-0,052	-0,108
Соотношение Mn / Fe	0,162	0,020	0,159	0,357	0,253
Двухлетняя хвоя 2007 года (N = 30)					
Длина хвоинок	<b>0,460</b>	-0,211	-0,080	<b>0,777</b>	<b>0,738</b>
Вес 100 пар хвоинок	<b>0,497</b>	-0,162	-0,227	<b>0,833</b>	<b>0,787</b>
Влажность хвои	-0,024	0,039	-0,335	-0,050	-0,064
Зольность хвои	0,093	-0,038	-0,230	0,324	0,250
Содержание Mg	0,198	-0,040	-0,335	<b>-0,375</b>	<b>-0,365</b>
Содержание Mn	0,013	-0,104	0,345	0,248	0,115
Содержание Zn	0,069	-0,063	0,264	<b>0,543</b>	<b>0,390</b>
Содержание Fe	-0,422	0,122	<b>0,436</b>	0,013	-0,087

Окончание табл. 15

Параметр	Значения коэффициентов корреляции между параметрами				
	высота деревьев (H)	диаметр деревьев (D)	отношение H / D <sup>2</sup>	прирост в высоту	
				2008 года	2007 года
Двухлетняя хвоя 2007 года (N = 30)					
Содержание Pb	-0,029	0,028	0,110	0,266	0,202
Содержание Cu	-0,200	-0,117	0,249	0,022	-0,062
Содержание Ni	0,138	-0,128	-0,036	-0,178	-0,222
Содержание Cd	-0,162	0,014	-0,024	-0,027	-0,107
Соотношение Mg / Mn	0,011	0,134	-0,251	-0,191	-0,104
Соотношение Mg / Zn	0,017	0,135	-0,218	<b>-0,688</b>	<b>-0,626</b>
Соотношение Mg / Fe	0,280	<b>0,380</b>	<b>-0,360</b>	-0,301	-0,270
Соотношение Mn / Zn	-0,046	-0,093	0,121	-0,192	-0,221
Соотношение Mn / Fe	0,166	-0,010	0,213	0,252	0,143

Корреляционный анализ позволил выявить достоверное наличие прямой и умеренной связи между величиной прироста и содержанием в однолетней и двухлетней хвое цинка, входящего в состав активных ферментов растений. Положительная корреляция прироста отмечена также с содержанием в однолетней хвое меди и никеля, что пока не поддается объяснению, поскольку эти металлы токсичны для растений. Возможно, что малая их концентрация оказывает стимулирующее действие. Обратная умеренная связь текущего прироста деревьев отмечена между соотношением содержания магния и цинка в одно- и двухлетней хвое, а также содержанием железа в однолетней хвое и магния в двухлетней.

#### Выводы.

1. Значения всех морфометрических, физиологических и химических параметров хвои сосновых молодняков на олиготрофных болотах Марийского Полесья имеют довольно высокую изменчивость. Особенно высока вариабельность веса хвоинок, содержания в хвое никеля, цинка и марганца, а также соотношение между содержанием магния и марганца. Меньше всего изменяется влажность и зольность хвои, содержание в ней магния, который занимает лидирующее положение в ранговом ряду оцененных нами металлов, а также соотношение между магнием и цинком.

2. Основным фактором изменчивости практически всех параметров хвои являются индивидуальные особенности деревьев. Вторым по значимости фактором является возраст хвои, по мере старения которой происходит снижение влажности и содержания магния, а также накопление железа, марганца и цинка. Биотопы достоверно различаются между собой по длине и весу хвоинок, а также по содержанию в хвое ряда металлов. Так, на вырубке содержание цинка и свинца в однолетней и двухлетней хвое значительно выше, чем на гари. В однолетней хвое на вырубке более высоко также содержание никеля, а железа, наоборот, ниже. Двухлетняя же хвоя в данном биотопе отличается пониженным содержанием магния.

3. Характер распределения содержания металлов в хвое сосновых молодняков, произрастающих на олиготрофных болотах Марийского Полесья, находящихся вдали от промышленных центров, совершенно иной, чем в зонах воздействия крупных промышленных загрязнителей. Так, магния и цинка в ней в 2–2,5 раза выше, а железа, меди

и никеля на порядок ниже, чем в сосняках Кольского полуострова в зоне воздействия комбинатов «Печенганикель» и «Североникель». По содержанию же марганца они существенно не отличаются от древостоев в зонах промышленного загрязнения.

4. Между содержанием в хвое разных металлов отмечается в основном довольно слабая взаимосвязь. В однолетней хвое сосновых молодняков на гари 1972 года достоверно установлено наличие антагонистических отношений между марганцем и свинцом, а в двухлетней – между магнием и железом. На вырубке достоверность наличия антагонистических отношений между металлами не доказана. Гораздо чаще проявляются положительные взаимосвязи между зольными элементами в хвое. Так, в однолетней хвое на гари эти отношения достоверны между парами Mg–Cd и Cu–Ni, а на вырубке – между Mg–Zn, Mn–Zn, Mn–Fe, Mn–Cu, Zn–Fe, Zn–Cu, Zn–Cd и Fe–Cu. В двухлетней хвое сосновых молодняков на вырубке положительные взаимосвязи достоверно выявлены между парами Mn–Cu, Fe–Pb, Pb–Cd и Cu–Cd. Химические элементы по их содержанию в хвое разного возраста и разных биотопов объединяются между собой в совершенно разные кластеры.

5. Значения многих параметров хвои не зависят от размеров деревьев и слабо связаны в большинстве случаев с величиной годичного прироста в высоту, не отражая фактически их текущего состояния. Тесно связаны с приростом лишь длина и вес хвоинок. Положительная умеренная корреляция прироста отмечена также с содержанием в хвое цинка, меди и никеля, а обратная – с содержанием железа в однолетней хвое и магния в двухлетней, а также с соотношением содержания магния и цинка.

6. Для оценки состояния древостоев и степени загрязнения окружающей среды целесообразно использовать не только содержание в хвое химических элементов, но и соотношение их между собой, беря образцы не менее чем с 12–15 деревьев средних по своим размерам и текущему годичному приросту в высоту.

#### Список литературы

1. Правдин, Л. Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция / Л. Ф. Правдин. – М.: Наука, 1964. – 192 с.
2. Абатуров, Ю. Д. Изменение длины хвои в различных типах сосняков в зависимости от характера влагообеспеченности / Ю. Д. Абатуров // Тр. Ин-та биологии УФ АН СССР. Вып. 43. – Свердловск, 1965. – С. 225–231
3. Тюкин, Н. Т. Изменчивость признаков хвои сосны обыкновенной / Н. Т. Тюкин // Лесное хозяйство. – 1974. – № 8. – С. 39–42.
4. Семенов, Н. В. Опыт изучения хвои сосны для оценки состояния лесных экосистем / Н. В. Семенов, А. А. Рудкова // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – Т. XI. – С. 142–149.
5. Гримальский, В. И. Устойчивость сосновых насаждений против хвоегрызущих вредителей / В. И. Гримальский. – М.: Лесная промышленность, 1964. – 152 с.
6. Цветков, В. Ф. Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них / В. Ф. Цветков. – Архангельск, 2002. – 380 с.
7. Цветков, В. Ф. Лес в условиях аэротехногенного загрязнения / В. Ф. Цветков, И. В. Цветков. – Архангельск, 2003. – 354 с.
8. Ярмишко В. Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на европейском Севере / В. Т. Ярмишко. – СПб., 1997. – 210 с.
9. Ярмишко, В. Т. Крона дерева как индикатор его состояния в условиях техногенного загрязнения окружающей среды / В. Т. Ярмишко // Проблемы экологии растительных сообществ Севера. – СПб., 2005. – С. 28–57.
10. Мартынюк, А. А. Сосновые экосистемы в условиях аэротехногенного загрязнения / А. А. Мартынюк. – М.: ВНИИЛМ, 2004. – 160 с.
11. 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.

12. Лукина, Н. В. Химический состав хвои сосны на Кольском полуострове / Н. В. Лукина, В. В. Никонов, Х. Райтио // Лесоведение. – 1994. – № 6. – С. 10–21.
13. Дроздова, И. В. Биогеохимические особенности растительности ультраосновных горных массивов Полярного Урала и Чукотки / И. В. Дроздова, М. Н. Катаева, А. И. Беляева // Проблемы экологии растительных сообществ Севера. – СПб., 2005. – С. 392–414.
14. Згуровская, Л. Н. Исследование хвои сосны и кедра на болотах разных типов / Л. Н. Згуровская // Ботанический журнал. – 1965. – Т. 50. – Вып. 2. – С. 234–237.
15. Корчагина, М. П. Морфометрическая характеристика хвои сосны обыкновенной на осушенных торфяных почвах / М. П. Корчагина // Изменение лесоболотных биогеоценозов под влиянием осушения. – Петрозаводск, 1986. – С. 62–82.
16. Методы определения микроэлементов в почвах, растениях и водах / Под ред. И. Г. Важенина. – М.: Колос, 1974. – 283 с.
17. Лакин, Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с.
18. Афифи, А. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ / А. Афифи, С. Эйзен. – М.: Мир, 1982. – 488 с.
19. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
20. Казимиров, Н. И. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера / Н. И. Казимиров, А. Д. Волков, С. С. Зябченко и др. – Л.: Наука, 1977. – 304 с.
21. 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.
22. 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.
23. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
24. Крамер, Л. Физиология древесных растений / Л. Крамер, Т. Козловский. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 628 с.
25. Лархер, В. Экология растений / В. Лархер. – М.: Мир, 1978. – 384 с.
26. Демаков, Ю. П. Физико-химические свойства грунтовых вод олиготрофных болот Марийского Полесья / Ю. П. Демаков, М. Г. Сафин // Наука в условиях современности. – Йошкар-Ола, 2009. – С. 9–11.
27. Ефремова, Т. Т. Опыт построения бонитировочной шкалы местообитаний болотных сосняков южнотаежной подзоны Западной Сибири / Т. Т. Ефремова, А. Ф. Аврова, С. П. Ефремов // Хвойные бо-реальной зоны. – 2008. – Т. XXV. – № 3. – С. 269–276.

**Работа выполнена в рамках гранта «Обоснование модели устойчивого состояния елово-пихтовых лесов для формирования высокопродуктивных насаждений с учетом геохимических аспектов их функционирования и особенностей биологического круговорота макро- и микроэлементов» Министерства образования и науки Российской Федерации (государственный контракт П 738 от 20.05. 2010).**

Статья поступила в редакцию 20.08.10.

*Yu. P. Demakov, M. G. Safin, R. I. Vinokurova,  
V. I. Talantsev, S. M. Shvetsov*

#### **NEEDLES AS AN INDICATOR OF A PINE YOUNG GROWTHS CONDITION ON MARI WOODLANDS OLIGOTROPHIC MOORS**

*The data characterizing the limits and regularities of variability of morphologic, physiological and chemical parameters of needles pine young growths on Mari Woodlands oligotrophic moors, and interrelation among the parameters and trees condition are given. It is concluded that the major variability factor of almost all needles parameters are trees special features. The second factor for the importance is the age of needles.*

**Key words:** *oligotrophic moors, pine, needles, morphologic, physiological and chemical parameters, variability.*

*ДЕМАКОВ Юрий Петрович* – доктор биологических наук, профессор кафедры управления природопользованием и лесозащиты МарГТУ. Область научных интересов – биогеоценология, дендрохронология. Автор 205 научных и учебно-методических работ, в том числе трех монографий.

E-mail: DemakovYP@marstu.net

*САФИН Масхут Гумарович* – директор Государственного природного заповедника «Большая Кокшага», аспирант МарГТУ. Область научных интересов – биогеоценология, болотоведение. Автор 15 публикаций.

E-mail: buh2@newmail.ru

*ВИНОКУРОВА Раиса Ибрагимовна* – доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой химии МарГТУ. Область научных интересов – биогеохимия, биологический круговорот веществ, экология и физиология древесных растений. Автор более 150 публикаций, в том числе пяти монографий.

E-mail: VinokurovaRI@marstu.net

*ТАЛАНЦЕВ Владимир Иванович* – инженер кафедры химии, аспирант МарГТУ. Область научных интересов: биогеохимия, физическая химия. Автор пяти публикаций.

E-mail: TalancevVI@marstu.net

*ШВЕЦОВ Сергей Михайлович* – лаборант кафедры химии, аспирант МарГТУ. Область научных интересов – лесная экология, биогеохимия. Автор трех публикаций.

E-mail: ShvecovSM@marstu.net