

УДК 630*18 (470.343)

*Ю. П. Демаков, С. М. Швецов, В. И. Таланцев, К. К. Калинин***ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ЗОЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ГОДИЧНЫХ СЛОЯХ СТАРОВОЗРАСТНЫХ СОСЕН,
ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ПОЙМЕННЫХ БИОТОПАХ**

Приведены данные, характеризующие зольный состав годичных колец старовозрастных деревьев сосны обыкновенной и динамику с 1850 по 2009 гг. содержания в них 11 различных металлов. Показано, что содержание ряда металлов в древесине и соотношения содержания разных элементов закономерно изменяются с возрастом деревьев.

Ключевые слова: *сосна обыкновенная, древесина, зольные элементы, факторы variability.*

Введение. Усиление антропогенной нагрузки на леса и ухудшение их состояния обусловили необходимость ведения экологического мониторинга, эффективность которого во многом зависит от правильности выбора объектов и диагностических параметров. Одним из основных носителей информации о состоянии лесных экосистем являются, безусловно, деревья, а ее источником – годичные кольца. Закодированная в них информация, представляющая собой смесь сведений о динамике состояния самого дерева, его биотического окружения и внешней среды, требует «расшифровки» и глубокого анализа. Применяемые в настоящее время приемы и методы позволяют, однако, расшифровать лишь часть этой информации [1, 2]. Весьма перспективной может оказаться оценка содержания в них зольных элементов и анализ сопряженности его с радиальным приростом деревьев, поскольку химический состав их тканей изменяется в зависимости от погодных и лесорастительных условий, а также антропогенного воздействия [3–9].

Цель работы – изучение зольного состава годичных слоев древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), выявление закономерностей его динамики и взаимосвязей между химическими элементами.

Материал и методика. Исходный материал представлен кернами древесины, взятыми с 47 деревьев сосны возрастом от 40 до 175 лет в сложных по составу и возрастной структуре насаждениях, произрастающих на дерновых среднеглинистых аллювиально-слабоподзолистых пойменных почвах в ТЛУ D₂₋₃ в лесопарках г. Йошкар-Олы (Сосновая роща – 17 деревьев, Дубовая роща – 30 деревьев).

На кернах сначала было проведено измерение ширины годичных слоев с погрешностью $\pm 0,05$ мм. После этого их разделяли на слои по 20-летиям, высушивали до абсолютно сухого состояния при температуре 110°C, измельчали, взвешивали и сжигали в муфельной печи при температуре 450°C. Содержание элементов в золе определяли на атомно-абсорбционном спектрометре AAnalyst 400. Подготовку образцов к анализу проводили по типовым методикам [10, 11]. Для пересчета содержания элемента в сухом образце использовали формулу $C_3 = C_P \cdot V_P \cdot M_3 / M_H \cdot M_C$, где C_3 – содержание элемента в сухом образце, мг/кг; C_P – концентрация элемента в растворе, мг/л; V_P – объем раствора, в котором была растворена зола (50 мл для Ca, K, Mg, Mn, Zn, Fe, Cu и 25 мл для Pb, Ni, Cd и Co); M_3 – масса золы, г; M_H – масса навески, г; M_C – масса высушенного образца, г. Цифровой материал обработан на ПК с использованием стандартных методов математической статистики [12].

Результаты и обсуждение. Анализ полученного материала показал, что более всего содержится в древесине кальция (табл. 1), являющегося основой оболочки клеток. За ним следуют магний и калий, участвующие в процессе метаболизма. На порядок меньше содержится в образцах железа, марганца, цинка и меди. Замыкают ранговый ряд металлов Ni, Cd, Pb и Co. Содержание металлов в образцах варьирует в довольно больших пределах. Особенно высока изменчивость содержания в древесине никеля. Меньше всего изменяется содержание золы, Zn, Ca, Cu, Cd и Fe. Связь между содержанием металлов в образцах и коэффициентом его вариации практически отсутствует. Содержание элементов в древесине сосен в определенной мере зависит как от особенностей биотопов, так и периода времени образования годичных слоев (табл. 2). Содержание Ca, Mg, Mn и Cd в лесопарке «Сосновая роща» достоверно выше, а Pb ниже, чем в лесопарке «Дубовая роща» (табл. 3). Причина этого различия является не вполне ясной, требующей дальнейших исследований.

Таблица 1

Изменчивость содержания химических элементов в древесине сосен

Элемент	Значения статистических показателей*						
	M_x	min	max	S_x	m_x	V, %	P, %
Зола	0,31	0,24	0,52	0,07	0,02	21,1	5,3
Ca	803,4	595,4	1617,3	243,7	60,9	30,3	7,6
Mg	287,6	143,8	639,8	121,0	30,2	42,1	10,5
K	251,7	126,7	483,9	121,3	30,3	48,2	12,1
Fe	33,3	18,5	59,8	12,3	3,1	37,1	9,3
Mn	11,0	6,3	27,9	4,9	1,2	44,8	11,2
Zn	4,16	2,84	8,38	1,23	0,31	29,5	7,4
Cu	1,12	0,75	2,18	0,35	0,09	31,7	7,9
Ni	0,51	0,03	3,21	0,96	0,24	186,4	46,6
Cd	0,13	0,058	0,233	0,048	0,012	35,4	8,8
Pb	0,11	0,019	0,242	0,057	0,014	51,2	12,8
Co	0,11	0,061	0,255	0,046	0,012	41,9	10,5

Примечание: содержание золы выражено в %, а остальных элементов – в мг/кг абсолютно сухой массы древесины.

Таблица 2

Факторы дисперсии содержания элементов в древесине сосен

Элемент	Фактор дисперсии и доля его влияния				Доля ошибки, %
	Условия биотопа ($F_{0,05} = 5,59$)		Период времени ($F_{0,05} = 3,79$)		
	$F_{\text{факт.}}$	Доля влияния, %	$F_{\text{факт.}}$	Доля влияния, %	
Зола	3,74	16,1	1,79	53,8	30,1
Ca	8,26	10,7	8,90	80,3	9,0
Mg	13,70	18,9	7,39	71,4	9,7
K	0,63	1,2	6,39	85,4	13,4
Fe	0,12	0,6	1,76	63,4	36,0
Mn	6,05	24,2	1,71	47,9	28,0
Zn	1,92	7,0	2,62	67,3	25,7
Cu	4,90	11,5	4,36	72,0	16,5
Ni	0,12	0,0	35,96	97,2	2,7
Cd	15,66	9,3	20,69	86,5	4,2
Pb	20,69	66,0	0,52	11,6	22,3
Co	2,95	5,1	6,86	82,8	12,1

Содержание золы и металлов в древесине сосны обыкновенной пойменных биотопов

Временной интервал	Средний возраст, лет*	Содержание элементов в древесине, мг/кг абсолютно сухой массы											
		Зола, %	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Cd	Pb	Co
<i>Дубовая роща</i>													
1850-1869 гг.	7	0,29	1097,4	437,7	184,5	24,32	10,580	4,719	1,247	0,052	0,093	0,144	0,175
1870-1889 гг.	14	0,26	727,3	196,0	146,9	53,63	8,593	3,876	0,978	0,101	0,087	0,161	0,084
1890-1909 гг.	25	0,24	595,4	151,1	132,1	34,05	7,837	3,220	0,861	2,623	0,058	0,164	0,081
1910-1929 гг.	39	0,24	681,4	143,8	126,7	25,98	9,478	2,837	0,777	0,153	0,099	0,126	0,061
1930-1949 гг.	54	0,27	657,2	172,5	182,5	18,52	9,302	3,477	0,752	0,583	0,151	0,242	0,073
1950-1969 гг.	71	0,32	717,0	233,3	292,5	28,14	9,371	4,495	0,938	0,167	0,182	0,141	0,093
1970-1989 гг.	91	0,32	673,2	284,9	361,1	27,57	7,884	4,404	1,058	0,377	0,170	0,150	0,114
1990-2009 гг.	111	0,35	662,1	273,9	483,9	46,34	6,271	3,764	1,394	0,207	0,122	0,111	0,117
Среднее	-	0,29	726,4	236,7	238,8	32,32	8,665	3,849	1,001	0,533	0,120	0,155	0,100
Минимум	-	0,24	595,4	143,8	126,7	18,52	6,271	2,837	0,752	0,052	0,058	0,111	0,061
Максимум	-	0,35	1097,4	437,7	483,9	53,63	10,580	4,719	1,394	2,623	0,182	0,242	0,175
<i>Сосновая роща</i>													
1850-1869 гг.	16	0,52	1617,3	639,8	415,9	59,81	27,870	8,384	2,181	0,156	0,156	0,042	0,255
1870-1889 гг.	23	0,30	826,2	285,4	150,3	36,46	10,680	4,083	1,315	0,117	0,106	0,067	0,112
1890-1909 гг.	32	0,29	769,3	255,6	147,3	25,32	9,759	3,944	1,045	3,214	0,088	0,083	0,102
1910-1929 гг.	49	0,29	768,0	287,8	176,3	23,41	9,551	3,584	0,879	0,056	0,101	0,101	0,101
1930-1949 гг.	68	0,29	776,8	373,2	220,9	22,17	11,220	3,838	0,851	0,026	0,162	0,045	0,104
1950-1969 гг.	76	0,32	806,1	301,1	226,1	26,59	15,110	4,375	1,027	0,058	0,233	0,019	0,092
1970-1989 гг.	83	0,32	750,0	292,2	321,3	31,17	12,660	4,163	1,128	0,130	0,195	0,088	0,093
1990-2009 гг.	103	0,37	729,2	273,0	458,3	48,75	10,030	3,473	1,443	0,182	0,146	0,082	0,100
Среднее	-	0,34	880,4	338,5	264,6	34,21	13,360	4,481	1,234	0,492	0,148	0,066	0,120
Минимум	-	0,29	729,2	255,6	147,3	22,17	9,551	3,473	0,851	0,026	0,088	0,019	0,092
Максимум	-	0,52	1617,3	639,8	458,3	59,81	27,870	8,384	2,181	3,214	0,233	0,101	0,255

* отображен средний возраст деревьев в выборке в пределах конкретного временного интервала.

Существенно различаются между собой, как свидетельствуют приведенные данные, годовые слои древесины разных лет по содержанию в них Ca, Mg, K, Cu, Ni, Cd и Co. В этом случае можно предположить несколько версий изменения содержания металлов в древесине, обусловленного:

- 1) неодинаковой интенсивностью протекания физиологических процессов деревьев и потребления ими элементов питания в разном возрасте;
- 2) поступлением химических веществ в лесные экосистемы из каких-либо внешних источников;
- 3) комплексом внешних и внутренних факторов, а также взаимоотношением элементов между собой, приводящих к ингибированию или усилению их потребления растениями.

Если принять в качестве исходной гипотезы первое предположение, то должна прослеживаться связь между содержанием зольных элементов в годовых слоях и возрастом деревьев, описываемая гладкой математической функцией, не имеющей резких переломов и многих перегибов. Расчеты показали, что довольно четко изменяется с возрастом деревьев зольность древесины и содержание в ней калия (рис. 1). Эти зависимости хорошо аппроксимируют следующие полиномы:

- по зольности $Z = 0,30 - 0,27 \cdot X + 0,56 \cdot X^2 - 0,24 \cdot X^3$; $R^2 = 0,748$;

- по содержанию калия $Y = 183,0 - 279,7 \cdot X + 514,7 \cdot X^2$; $R^2 = 0,966$;

где Z – зольность слоя древесины, %; Y – содержание в древесине калия, мг/кг абсолютно сухой массы; $X = A/100$; A – возраст слоя древесины, лет.

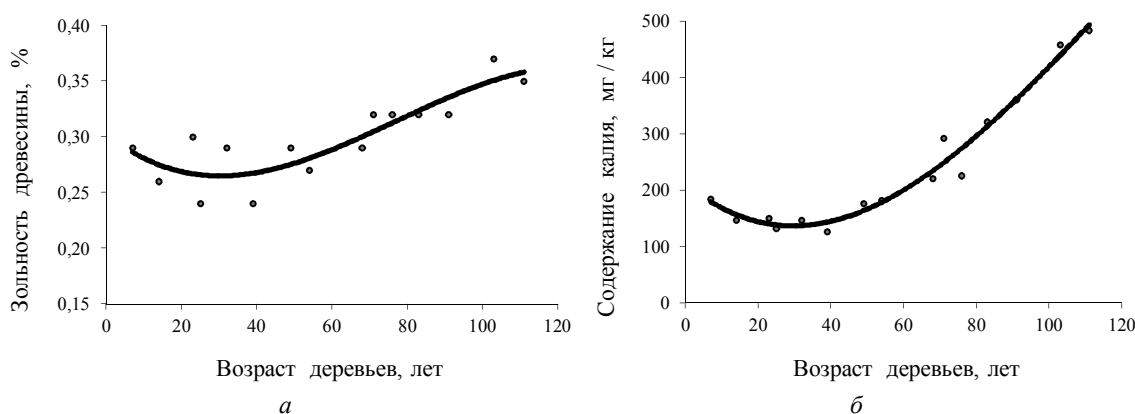


Рис. 1. Динамика зольности древесины сосен (а) и содержания в ней калия (б)

Приведенные графики показывают, что минимум зольности древесины и содержания в ней калия приходится на возраст 25-30 лет. По мере дальнейшего увеличения возраста деревьев значения показателей неуклонно возрастают. Из общего ряда показателей значительно отклоняется в сторону увеличения значения одна точка по Сосновой роще, относящаяся к самому молодому возрасту. Это связано, по всей вероятности, с особенностями эдафических условий и происхождением древостоя, возникшего, как можно предполагать, на месте заброшенных сельскохозяйственных угодий, о чем свидетельствует преобладание в насаждениях сосны в несвойственных для нее условиях произрастания. В Дубовой же роще деревья сосны встречаются лишь единично, что указывает на сукцессионную зрелость лесных биогеоценозов. Такой характер изменения показателей связан, возможно, с разной интенсивностью роста деревьев в различные периоды их возраста (рис. 2). Так, в лесопарке «Сосновая роща» наибольший годичный прирост отмечался в самом молодом возрасте. Этот факт служит дополнительным свидетельством возникновения древостоя на не покрытых лесом землях. В Дубовой роще ход роста деревьев иной, и коэффициент корреляции между рядами значений составляет 0,788. Расчеты показали, что связь зольности

древесины и содержания в ней калия с шириной годичных колец менее тесная, чем с возрастом деревьев. Таким образом, можно утверждать, что изменение значений показателей связано не с абсолютной величиной годичного прироста деревьев, а с неодинаковым потреблением элементов питания в разном возрасте для построения тканей древесины: минимум зольности древесины и содержания в ней калия приходится на возраст 25-30 лет, но прирост в это время максимален.

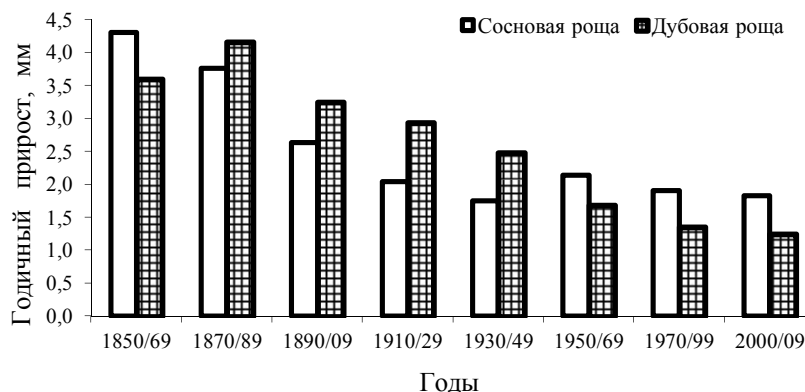


Рис. 2. Динамика радиального прироста деревьев сосны в биотопах

Содержание Cd, Cu, Zn и Fe в древесине изменяется волнообразно (рис. 3), что аппроксимируют следующие периодические функции:

- по кадмию $Y = 0,055 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot A / 103 + 2,99) + 0,139$; $R^2 = 0,752$;

- по меди $Y = 0,33 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot A / 152 + 2,59) + 1,157$; $R^2 = 0,708$;

- по цинку $Y = 0,56 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot A / 80 + 1,46) + 3,85$; $R^2 = 0,604$;

- по железу $Y = 12,31 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot A / 98 + 0,92) + 31,2$; $R^2 = 0,549$;

где Y – содержание в древесине элемента, мг/кг абсолютно сухой массы; A – возраст слоя древесины, лет. Волнообразно, с периодом 174 года изменяется и содержание в древесине золы. Причина периодичности изменения содержания элементов пока не ясна и требует дальнейших исследований.

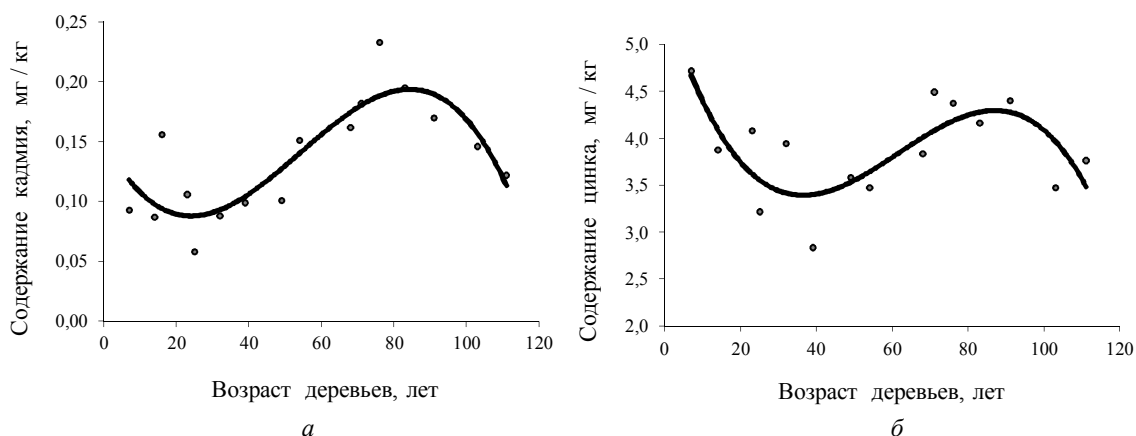


Рис. 3. Динамика содержания кадмия (а) и цинка в древесине сосен (б)

Содержание Ca, Mg, Mn, Pb и Co изменяется бессистемно, флуктуируя вокруг среднего уровня (рис. 4). Исключением является период времени с 1850 по 1869 гг., представленный небольшим числом образцов и малой навеской, обусловившей погрешность полученных результатов анализа. Кардинальные отличия имеет динамика никеля, у которого отмечается резкое увеличение содержания в 1890-1909 гг. (в Дубовой роще в 11,2 раза по сравнению с фоном, а в Сосновой роще – в 31 раз!), сопоставимого с содержанием этого металла в деревьях, произрастающих вблизи металлургического комбината [6, 8]. Причина данного

феномена не совсем ясна и связана с какими-то природными явлениями (возможно, с выпадением метеорных дождей, в которых содержится много никеля), но не с антропогенной деятельностью, поскольку этот металл в то время еще широко не использовался, да и промышленность на данной территории тогда практически отсутствовала.

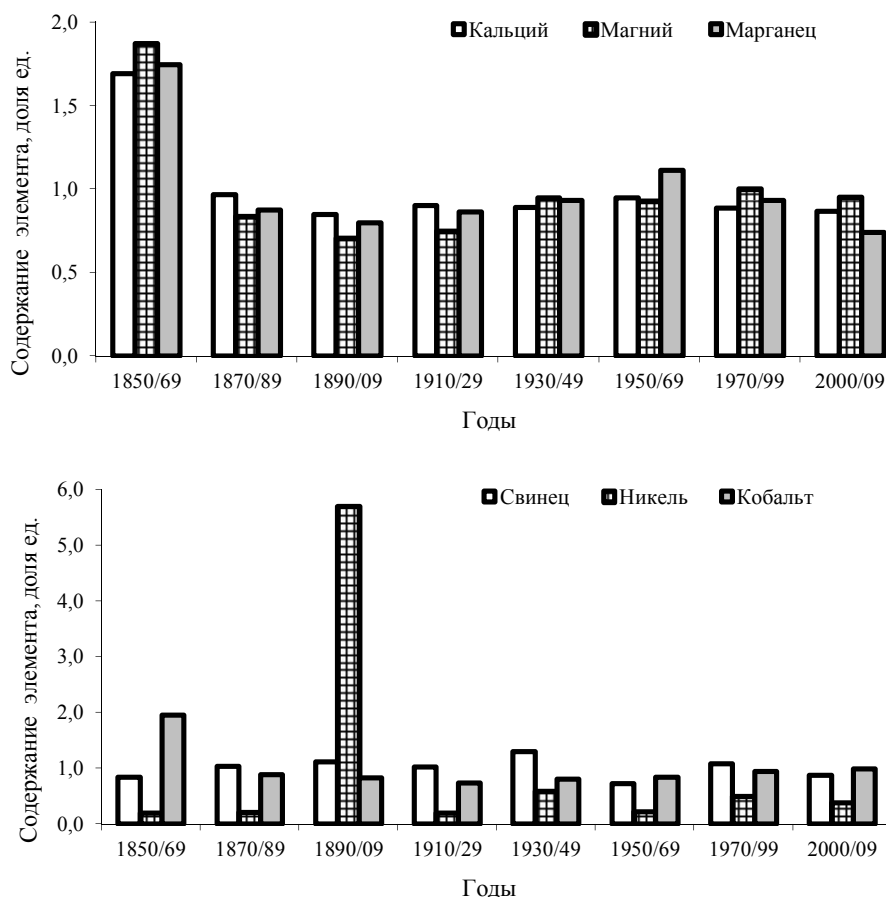


Рис. 4. Динамика относительного содержания различных металлов в древесине сосен

Установленная некоторыми исследователями [3, 5] связь между величиной прироста деревьев и уровнем зольности древесины, а также содержанием в ней кальция не подтвердилась. Выявлена положительная умеренная связь прироста с содержанием K, Mg, Fe, а отрицательная – с содержанием Ni. Содержание в древесине большинства металлов практически не связано с величиной текущего радиального прироста деревьев, но тесно коррелирует между собой, а также с величиной зольности (табл. 4), что свидетельствует о высокой сбалансированности химического состава древесины, в отличие от химического состава хвои [9]. Особенно тесные связи отмечаются между содержанием Co и Ca, Zn и Ca, Mg и Ca, Co и Mg, Co и Zn. Зависимости, которые можно использовать для оценки содержания одного элемента по содержанию другого, отображаются следующими уравнениями:

$$[Co] = 10^{-5} \cdot 2,83 \cdot [Ca]^{1,234}; \quad R^2 = 0,894;$$

$$[Zn] = 10^{-3} \cdot 8,06 \cdot [Ca]^{0,934}; \quad R^2 = 0,855;$$

$$[Co] = 10^{-4} \cdot 3,97 \cdot [Mg]^{0,992}; \quad R^2 = 0,888;$$

$$[Mg] = 10^{-2} \cdot 10,1 \cdot [Ca]^{1,188}; \quad R^2 = 0,841;$$

$$[Co] = 10^{-2} \cdot 1,89 \cdot [Zn]^{1,225}; \quad R^2 = 0,839;$$

$$[Cu] = 5,2 \cdot [Z]^{1,322}; \quad R^2 = 0,845;$$

где [Co], [Zn], [Mg], [Cu] – содержание в древесине соответствующего элемента, мг/кг; [Z] – содержание золы в древесине, %.

Т а б л и ц а 4

Матрица коэффициентов корреляции между содержанием элементов в древесине

Элемент	Значения коэффициентов корреляции между элементами										
	Зола	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Cd	Pb
Зола	1,00										
Ca	0,77	1,00									
Mg	0,81	0,92	1,00								
K	0,75	0,24	0,42	1,00							
Fe	0,62	0,43	0,35	0,52	1,00						
Mn	0,80	0,90	0,81	0,26	0,41	1,00					
Zn	0,86	0,93	0,88	0,40	0,49	0,89	1,00				
Cu	0,92	0,81	0,80	0,64	0,75	0,72	0,82	1,00			
Ni	-0,26	-0,21	-0,29	-0,33	-0,15	-0,19	-0,18	-0,19	1,00		
Cd	0,40	0,10	0,26	0,46	-0,11	0,36	0,29	0,12	-0,47	1,00	
Pb	-0,49	-0,41	-0,54	-0,25	-0,23	-0,53	-0,37	-0,46	0,16	-0,36	1,00
Co	0,81	0,94	0,94	0,41	0,47	0,77	0,92	0,87	-0,17	0,05	-0,35

Между содержанием в древесине части элементов, как свидетельствуют приведенные данные, наблюдается отрицательная корреляция, что свидетельствует об их антагонистических отношениях между собой. В этом плане выделяются никель, а особенно свинец, которые ингибируют потребление деревьями таких элементов, как кальций, калий, магний, марганец, медь и цинк, играющих важную роль в протекании физиологических процессов [13, 14]. Так, основная функция кальция состоит в поддержании структуры рибосом, в которых происходит синтез белка, а также в стабилизации других клеточных структур, т.к. его ионы являются своеобразными «мостиками», связывающими между собой молекулы липидов. Соединения кальция с пектиновыми веществами склеивают оболочки соседних клеток. Он, в отличие от других элементов, в растениях малоподвижен, практически не утилизируется и накапливается в стареющих органах. Калий участвует в синтезе углеводов и большинстве ферментативных процессов, происходящих в тканях растений, повышает водоудерживающую способность цитоплазмы, интенсивность фотосинтеза и отток ассимилянтов. Он накапливается в основном в молодых тканях растений, не образуя прочных органических соединений, а вступает лишь в слабые адсорбционные взаимодействия с белками и в обменные реакции с органическими кислотами. Магний играет существенную роль в обмене веществ, особенно в молодых органах растений. Он входит в состав хлорофилла, активизирует ферменты, переносящие фосфат с АТФ на молекулу сахара. Марганец принимает активное участие в окислительных процессах, восстановлении нитратов в процессе фотосинтеза, входит в состав многих окислительных ферментов растений, принимает участие в тканевом дыхании. Его недостаток проявляется в возникновении мелких, сначала светлых, а потом коричневых пятен между жилками молодых листьев. Медь активизирует витамины группы В, влияет на белковый и углеводный обмен, защищает от распада хлорофилл, способствует синтезу белка. При недостатке меди бледнеет листовая пластинка (хлороз) и отмирают мягкие ткани листа. Цинк играет важную роль в процессе тканевого дыхания. Он входит в состав хлоропластов и участвует в фотосинтезе.

По характеру динамики значений все элементы объединяются между собой в три кластера (рис. 5). Наиболее представительный кластер слагают зола и шесть металлов: Ca, Mg, Mn, Zn, Cu и Co. Во второй кластер входят три металла: K, Fe и Cd. Отдельный кластер составляют никель и свинец.

Важным условием нормального протекания физиологических и биохимических процессов у деревьев является сбалансированность химического состава их тканей, поскольку

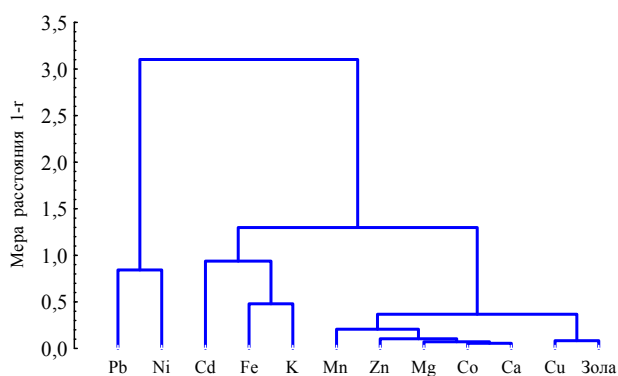


Рис. 5. Дендрограмма сходства динамики содержания элементов в древесине сосен, построенная способом Варда по матрице коэффициентов корреляции

весеине калия к кальцию, возрастающего по мере улучшения условий роста деревьев.

Результаты нашего исследования показали, что величина соотношения содержания химических элементов в древесине довольно изменчива (табл. 5).

Таблица 5

Изменчивость соотношения содержания металлов в древесине сосен

Соотношение элементов	Значения статистических показателей						
	M_x	min	max	S_x	m_x	V, %	P, %
Ca / K	3,75	1,37	5,95	1,48	0,37	39,4	9,9
Ca / Mg	2,98	2,08	4,74	0,71	0,18	24,0	6,0
K / Mg	0,92	0,42	1,77	0,40	0,10	43,7	10,9
K / Fe	7,8	2,7	13,1	2,9	0,7	37,2	9,3
K / Mn	25,4	13,4	77,2	17,2	4,3	67,8	17,0
K / Zn	61,4	36,8	132,0	30,1	7,5	49,0	12,3
K / Cu	224,1	114,3	347,1	78,0	19,5	34,8	8,7
Mg / Fe	9,34	3,65	18,00	4,06	1,01	43,4	10,9
Mg / Mn	27,0	15,2	43,7	8,1	2,0	30,2	7,5
Mg / Zn	67,9	46,9	97,2	15,3	3,8	22,5	5,6
Mg / Cu	257,4	175,5	438,5	70,9	17,7	27,5	6,9
Fe / Mn	3,32	1,76	7,39	1,62	0,41	48,8	12,2
Fe / Zn	8,20	5,15	14,04	2,98	0,74	36,3	9,1
Zn / Cu	3,82	2,41	4,79	0,65	0,16	17,0	4,2

Наиболее сильно варьирует величина пропорций K/Mn, K/Zn, Fe/Mn, K/Mg и Mg/Fe. Меньше всего изменяются соотношения Zn/Cu, Mg/Zn, Ca/Mg и Mg/Cu. Соотношения K/Mg, Mg/Zn и Fe/Mn существенно различаются по биотопам (табл. 6): значения K/Mg и Fe/Mn в Дубовой роще выше, чем в Сосновой, а Mg/Zn, наоборот, ниже. Соотношения Ca/K, K/Mg, K/Fe, K/Mn, K/Zn и K/Cu достоверно различаются по периодам времени (рис. 6), что аппроксимируют следующие нелинейные уравнения регрессии:

$$\begin{aligned}
 [Ca/K] &= 4,12 \cdot \exp(-1,875 \cdot X^{3,059}) + 1,0; R^2 = 0,862; & [K/Mn] &= 0,14 \cdot \exp(5,474 \cdot X) + 15,5; R^2 = 0,914; \\
 [K/Mg] &= 0,83 \cdot X^{3,212} + 0,65; R^2 = 0,777; & [K/Zn] &= 2,08 \cdot \exp(3,509 \cdot X) + 36,0; R^2 = 0,938; \\
 [K/Fe] &= 3,16 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot A / 130 + 3,588) + 8,12; & [K/Cu] &= 194,4 \cdot [1 - \exp(2,642 \cdot X^{3,016})] + 148,0; \\
 & & & R^2 = 0,872;
 \end{aligned}$$

где $[Ca/K]$ – отношения содержания элементов в древесине; $X = A/100$; A – возраст слоя древесины, лет.

Приведенные на графиках данные показывают, что содержание в древесине кальция по отношению к калию убывает по мере старения деревьев, а содержание калия по отноше-

нию к марганцу, цинку и меди, наоборот, возрастает. Связь пропорций содержания металлов в древесине с шириной годичных колец менее тесная, чем с возрастом деревьев. Этот факт позволяет сделать вывод о том, что изменение значений показателей связано не с абсолютной величиной годичного прироста деревьев, как это считает А.Ф Четвериков [5], а с их возрастом, обуславливающим изменение потребления ими элементов питания для построения тканей древесины. Подтвердить или опровергнуть данное положение можно лишь на основе исследований, проведенных в древостоях разного возраста.

Таблица 6

Факторы дисперсии соотношения содержания металлов в древесине сосен

Соотношение элементов	Фактор дисперсии и доля его влияния				Доля ошибки, %
	Условия биотопа ($F_{0,05} = 5,59$)		Период времени ($F_{0,05} = 3,79$)		
	$F_{\text{факт.}}$	Доля влияния, %	$F_{\text{факт.}}$	Доля влияния, %	
Ca / K	0,00	0,0	7,62	88,4	11,6
Ca / Mg	4,89	24,4	1,16	40,7	34,9
K / Mg	7,53	8,2	11,07	84,2	7,6
K / Fe	0,00	0,0	9,00	90,0	10,0
K / Mn	3,93	6,9	6,56	80,8	12,3
K / Zn	0,00	0,0	69,47	98,6	1,4
K / Cu	0,95	1,1	10,75	90,5	8,4
Mg / Fe	1,75	8,7	1,62	56,5	34,8
Mg / Mn	0,10	1,0	0,52	34,1	64,9
Mg / Zn	5,66	28,5	1,03	36,3	35,2
Mg / Cu	2,68	13,7	1,42	50,6	35,7
Fe / Mn	10,51	15,4	7,28	74,4	10,2
Fe / Zn	0,71	2,0	4,05	78,6	19,4
Zn / Cu	2,34	3,0	9,64	87,9	9,1

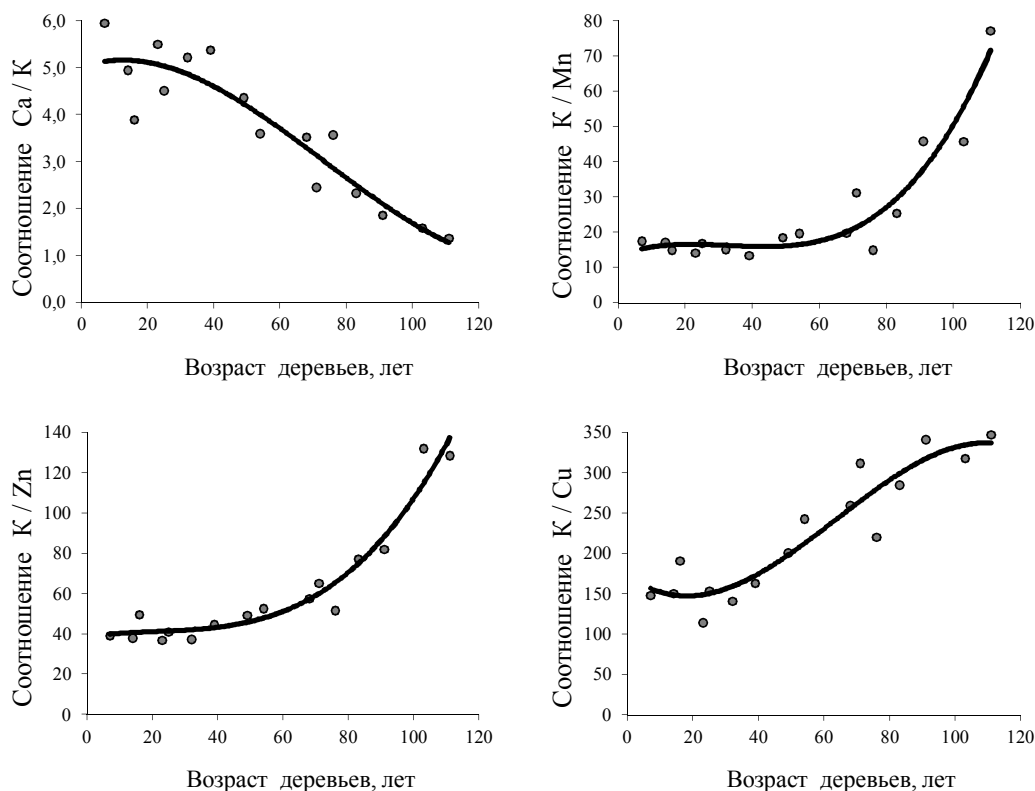


Рис. 6. Динамика значений соотношения содержания разных металлов в древесине сосен

Выводы.

1. Более всего содержится в древесине кальция, являющегося основой оболочки клеток. За ним следуют магний и калий, участвующие в процессе метаболизма. На порядок меньше содержится в образцах железа, марганца, цинка и меди. Замыкают ранговый ряд металлов Ni, Cd, Pb и Co.

2. Содержание металлов в образцах варьирует в довольно больших пределах. Особенно высока изменчивость содержания в древесине никеля. Меньше всего изменяется содержание золы, Zn, Ca, Cu, Cd и Fe. Связь между содержанием металлов в образцах и коэффициентом его вариации практически отсутствует.

3. Содержание металлов в древесине сосен зависит как от особенностей биотопов, так и периода времени образования годичных слоев. Существенно различаются между собой годичные слои древесины разных лет по содержанию в них золы, Ca, Mg, K, Cu, Ni, Cd и Co. Минимум зольности древесины и содержания калия приходится на возраст 25-30 лет; по мере увеличения возраста деревьев показатели неуклонно возрастают. Содержание в древесине кальция по отношению к калию убывает по мере старения деревьев, а содержание калия по отношению к марганцу, цинку и меди, наоборот, возрастает. Содержание в древесине Cd, Cu, Zn и Fe изменяется волнообразно. Кардинально отличается от всех металлов динамика содержания никеля, у которого отмечается значительное содержание в 1890-1909 гг., сопоставимого по значениям с деревьями, произрастающими вблизи металлургических производств. Причина этого феномена не ясна.

4. Связь содержания металлов в древесине и величины его пропорций между ними с шириной годичных колец менее тесная, чем с возрастом деревьев, который обуславливает изменение потребления ими элементов питания.

Список литературы

1. Демаков, Ю.П. Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты) / Ю.П. Демаков. – Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 2000. – 415 с.
2. Демаков, Ю.П. Возможности дендрохронологии в индикации и прогнозе течения природных и антропогенно обусловленных процессов / Ю.П. Демаков // Математические и физические методы в экологии и мониторинге природной среды: Тр. Междунар. конф. – М.: МГУЛ, 2001. – С. 257-263.
3. Адаменко, В.Н. Химический состав годичных колец деревьев и состояние природной среды / В.Н. Адаменко, Е.Л. Журавлева, А.Ф. Четвериков // Докл. АН СССР. – 1982. – Т. 265, № 2. – С. 507-512.
4. 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.
5. Четвериков, А.Ф. Химический состав годичных слоев прироста деревьев и условия природной среды / А.Ф. Четвериков // Дендрохронология и дендроклиматология. – Новосибирск: Наука, 1986. – С. 126-130.
6. 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.
7. Лукина, Н.В. Химический состав хвои сосны на Кольском полуострове / Н.В. Лукина, В.В. Никонов, Х. Райтио // Лесоведение. – 1994. – № 6. – С. 10-21.
8. Ярмишко, В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере / В.Т. Ярмишко. – СПб.: НИИ Химии СПбГУ, 1997. – 210 с.
9. 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.
10. Методика выполнения измерений валового содержания меди, кадмия, цинка, свинца, никеля, марганца, кобальта, хрома методом атомно-абсорбционной спектроскопии. – М.: ФГУ ФЦАО, 2007. – 20 с.
11. Методы определения микроэлементов в почвах, растениях и водах / Под ред. И.Г. Важенина. – М.: Колос, 1974. – 283 с.
12. Аффифи, А. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ / А. Аффифи, С. Эйзен. – М.: Мир, 1982. – 488 с.
13. Крамер, П.Д. Физиология древесных растений / П.Д. Крамер, Т.Т. Козловский. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 464 с.

14. Веретенников, А.В. Физиология растений с основами биохимии / А.В. Веретенников. – Воронеж: ВГУ, 1987. – 256 с.

15. Лархер, В. Экология растений / В. Лархер. – М.: Мир, 1978. – 384 с.

Статья поступила в редакцию 11.11.11.

Исследования выполнены на научном оборудовании лабораторий ЦКП «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» МарГТУ.

Yu. P. Demakov, S. M. Shvetsov, V. I. Talantsev, K. K. Kalinin

**DYNAMICS OF ASH CONSTITUENTS CONTENT IN ANNUAL RINGS
OF OLD-GROWTH PINES GROWING AT THE FLOODPLAIN BIOTOPES**

The data describing ash content of annual rings of old-growth Scotch pine trees and dynamics of content in it of 11 different metals for a period from 1850 to 2009 are presented. It was revealed that the content of a number of elements in the wood and the ratio of various elements naturally changes with the age of the trees.

Key words: Scots pine, wood, ash constituents, variability factors.

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры управления природопользованием и лесозащиты МарГТУ. Область научных интересов – биогеоценология, дендрохронология. Автор 220 научных и учебно-методических работ, в том числе трех монографий и пяти учебных пособий.

E-mail: Demakovyp@marstu.net

ШВЕЦОВ Сергей Михайлович – ст. лаборант кафедры химии, аспирант МарГТУ. Область научных интересов – экология, биогеохимия. Автор пяти публикаций.

E-mail: Shvecovsm@marstu.net

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

E-mail: Talancevvi@marstu.net

КАЛИНИН Константин Константинович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства МарГТУ. Область научных интересов – исследование последствий влияния лесных пожаров на лесные биогеоценозы и разработка рекомендаций по ликвидации их последствий. Автор более 130 работ.

E-mail: KalininKK@marstu.net