

УДК 630*18

Ю. П. Демаков, А. В. Исаев, А. М. Швецов

ПОТРЕБЛЕНИЕ И ВЫНОС ДРЕВЕСНЫМИ РАСТЕНИЯМИ ЗОЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЙМЕННОМ БИОТОПЕ

Приведены данные по зольному составу древесины 13 различных пород деревьев, произрастающих в краткопойменном биотопе. Проведен расчет валового годовичного потребления насаждениями основных минеральных веществ, их общего накопления в стволовой древесине и выноса за пределы биогеоценоза при рубке леса.

Ключевые слова: *древесные растения; зольные элементы; потребление и вынос.*

Введение. Деятельность древесных растений, как и всех других организмов, связана с потреблением из окружающей среды минеральных веществ, идущих на постройку их тканей и органов. Вещества, находящиеся в золе растений, являются в основном эссенциальными, т.е. жизненно важными [1–3], хотя некоторые из них могут быть ядами, накопленными в результате загрязнения природы продуктами антропогенной деятельности. Зольный состав различных органов растений, таким образом, несет важную информацию как об условиях среды, так и свойствах самих растений в отношении эффективности использования ими ресурсов почвы [4–12]. Расшифровка этой информации необходима для познания закономерностей биологического круговорота веществ и создания теоретических основ оптимизации породного состава лесов. Основное хранилище зольных элементов – ствол древесных растений, с которым при рубках леса безвозвратно выносятся за пределы биогеоценоза значительное количество минеральных веществ. Оценка зольного состава древесины различных видов древесных растений, валового потребления и депонирования ими зольных элементов в пределах одного биотопа является, в связи с этим, весьма актуальной и практически важной задачей.

Целью работы являлась оценка зольного состава древесины различных пород деревьев, динамики валового потребления и депонирования ими ряда минеральных элементов в процессе роста в краткопойменном биотопе.

Материал и методика. Исходный материал представлен кернами здоровой древесины (без признаков гнили), взятыми осенью 2011 года с 13 различных аборигенных и интродуцированных пород деревьев (по 12–15 деревьев каждой породы), произраставших в насаждениях естественного и искусственного происхождения на дерново-слабоподзолистых среднеглинистых аллювиальных пойменных почвах в ТЛУ D₂₋₃. Образцы древесины 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, а пробоподготовку образцов проводили по типовым методикам [13, 14]. Содержание элемента в образце оценивали по формуле $C_Э = C_P \times V_P \times M_3 / M_H \times M_C$, 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 (50 мл для Ca, K,

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 [15, 16].

Результаты и обсуждение. Первым этапом исследований потребления и выноса растениями из почвы зольных элементов является оценка их содержания в древесине. Анализ полученного материала показал, что содержание золы и зольных элементов в древесине различных пород деревьев, произрастающих в одном биотопе, изменяется в довольно больших пределах (табл. 1). Более всего в древесине всех пород содержится кальция, являющегося основой оболочки клеток. За ним следует калий. На порядок меньше содержится в образцах железа, марганца, стронция и цинка. Замыкают ранговый ряд Ni, Pb, Co и Cd. По величине коэффициента вариации элементы располагаются в следующий ранговый ряд: Fe > Cd > Co > Pb > K > Zn > Mn > Ca > Ni > Sr > Cu > Cr. Связь между содержанием металлов в образцах и коэффициентом его вариации отсутствует ($r = 0,06$). Доля содержания в золе оцененных нами элементов составляет по массе в среднем 49,3 %, изменяясь от 39,4 у ольхи черной до 54,8 % у дуба черешчатого. К числу массовых элементов, которые нам по техническим причинам пока не удалось оценить, относятся Mg, Si, Al, Na, Ba, P и S.

Таблица 1

Пределы изменчивости содержания зольных элементов в древесине различных пород деревьев

Элемент	Параметры изменчивости содержания элементов*						
	M_x	min	max	S_x	m_x	V, %	P, %
Зола	0,56	0,22	1,63	0,39	0,11	69,8	19,4
Ca	1762,0	845,4	4759,3	1002,5	278,0	56,9	15,8
K	835,8	163,1	2730,3	705,0	195,5	84,3	23,4
Fe	27,00	5,90	131,10	33,57	9,31	124,3	34,5
Mn	10,70	4,06	23,81	7,03	1,95	65,7	18,2
Sr	8,94	3,87	17,18	4,17	1,16	46,7	12,9
Zn	7,57	1,29	20,12	5,50	1,52	72,6	20,1
Cu	1,675	1,105	2,881	0,526	0,146	31,4	8,7
Cr	1,427	0,648	2,228	0,430	0,119	30,2	8,4
Ni	0,351	0,141	0,615	0,167	0,046	47,6	13,2
Pb	0,229	0,069	0,778	0,194	0,054	84,8	23,5
Co	0,165	0,069	0,610	0,143	0,040	86,6	24,0
Cd	0,136	0,024	0,498	0,162	0,045	119,2	33,1
Сумма	2656,1	1057,4	6634,8	1538,4	426,7	57,9	16,1
Доля	49,3	39,4	54,8	5,1	1,4	10,4	2,9

Примечание: * содержание золы и доля учтенных элементов выражены в %, а содержание остальных элементов – в мг/кг абсолютно сухой массы древесины.

Содержание в древесине большинства металлов слабо связано между собой, а также с величиной зольности (табл. 2). Тесная связь отмечена только между зольностью древесины и содержанием в ней кальция и калия, а также между содержанием кобальта и свинца. Умеренно тесные связи наблюдаются между содержанием в древесине K и Ca, Sr и Ca, Cd и Ca, Ni и K, Cu и K, Sr и Cd. Зависимости, которые можно использовать для оценки содержания одного элемента по содержанию другого, отображаются следующими уравнениями:

$$Ca = 2753 \cdot Z^{0,754}; R^2 = 0,835;$$

$$K = 1573 \cdot Z^{1,235}; R^2 = 0,769;$$

$$Co = 0,074 \cdot \exp(2,639 Pb); R^2 = 0,806;$$

где Ca, K, Co – содержание в древесине соответствующего элемента, мг/кг; Z – содержание золы в древесине, %.

Таблица 2

Матрица коэффициентов корреляции между содержанием элементов в древесине

Элемент	Значения коэффициентов корреляции между элементами											
	Зола	Ca	K	Fe	Mn	Sr	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	Co
Зола	1,00											
Ca	0,93	1,00										
K	0,84	0,62	1,00									
Fe	-0,07	-0,18	-0,11	1,00								
Mn	-0,28	-0,30	-0,34	0,05	1,00							
Sr	0,51	0,61	0,22	-0,41	-0,17	1,00						
Zn	0,35	0,50	0,06	-0,11	0,24	0,09	1,00					
Cu	0,27	0,00	0,56	0,35	-0,23	-0,37	-0,13	1,00				
Cr	0,44	0,40	0,43	-0,01	-0,02	-0,01	0,30	0,13	1,00			
Ni	0,51	0,33	0,64	0,16	-0,12	-0,18	-0,18	0,58	0,17	1,00		
Pb	0,14	0,21	-0,08	0,32	-0,27	0,23	0,07	-0,30	-0,38	-0,23	1,00	
Co	0,11	0,14	-0,02	0,29	-0,40	0,16	0,06	-0,23	-0,39	-0,26	0,94	1,00
Cd	0,54	0,68	0,19	-0,16	-0,19	0,58	0,51	-0,40	0,16	-0,16	0,30	0,33

По характеру распределения содержания в древесине различных пород деревьев все элементы объединяются между собой в четыре кластера (рис. 1). В первый кластер вошли зола, Ca, K, Sr и Cd, во второй – Mn, Zn и Cr, в третий – Fe, Cu и Ni, в четвертый, самый маленький и плотный, – Co и Pb.

Между содержанием в древесине части элементов, как свидетельствуют приведенные данные, наблюдается отрицательная корреляция, что свидетельствует об их антагонистических отношениях между собой. В этом плане особенно выделяются железо и марганец, которые ингибируют потребление деревьями многих зольных элементов, играющих важную роль в протекании физиологических процессов.

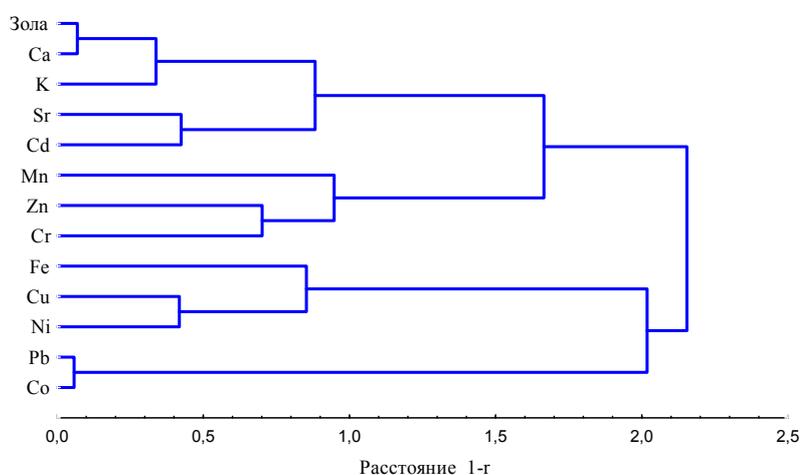


Рис. 1. Дендрограмма сходства зольных элементов по характеру их распределения в древесине различных пород деревьев, построенная способом Варда по матрице коэффициентов корреляции

Древесные породы, произрастающие в пределах одного пойменного биотопа в практически сходных лесорастительных условиях, существенно различаются между собой по зольности древесины и содержанию в ней зольных элементов (табл. 3), что свидетельствует о разной эффективности использования ими питательных веществ. Больше всего затрачивает минеральных веществ на образование 1 кг древесины, как свидетельствуют приведенные данные, тополь бальзамический сорта «Берлинский». Несколько уступает ему по зольности древесины вяз гладкий. Эти две породы деревьев больше всех потребляют кальция и калия. По содержанию в древесине железа первое место занимает ольха черная, меди и никеля – вяз, марганца и цинка – береза, свинца и кобальта – сосна, хрома – пихта, стронция и кадмия – тополь. Наиболее эффективно использует почвенный потенциал лиственница сибирская, в древесине которой золы содержится в 7,4 раза меньше, чем в древесине наиболее расточительной в экологическом плане породы – тополя бальзамического. На образование 1 кг древесины лиственница, по сравнению с другими породами деревьев, затрачивает намного меньше жизненно важных минеральных веществ, в частности кальция и калия. Ранговые ряды древесных растений по содержанию минеральных веществ в их древесине выглядят следующим образом:

- кальция: Т > ВЗ > Ос > Чер > Лп > Б > Ол (с) > Е > Пх > Ол (ч) > Д > С > Лц;
- калия: ВЗ > Т > Пх > Лп > Ос > Д > Ол (с) > Ол (ч) > Чер > Б > С > Е > Лц;
- железа: Ол (ч) > С > Ол (с) > ВЗ > Т > Б > Пх > Д > Ос > Лп > Е > Чер > Лц;
- марганца: Б > Лц > Пх > Ол (ч) > Е > Лп > Т > Д > Ол (с) > Ос > Чер > С > ВЗ;
- стронция: Т > Лц > Е > Чер > ВЗ > Ос > С > Лп > Пх > Ол (с) > Б > Ол (ч) > Д;
- цинка: Б > Т > Ос > Ол (с) > Е > Пх > С > Ол (ч) > Чер > ВЗ > Лц > Лп > Д;
- меди: ВЗ > Ол (ч) > Д > Ол (с) > Б > Чер > Е > Т > Пх > Ос > Лп > С > Лц;
- хрома: Пх > Ос > Т > Ол (ч) > ВЗ > Лп > Е > Ол (с) > Б > Чер > Д > Лц > С;
- никеля: ВЗ > Лп > Д > Ол (ч) > Т > Б > Чер > Пх > Ол (с) > Ос > Лц > Е > С;
- свинца: С > Т > Чер > Ол (ч) > Ол (с) > Пх > Б > Лц > Лп > ВЗ > Е > Д > Ос;
- кобальта: С > Т > ВЗ > Ол (с) > Ол (ч) > Ос > Чер > Б > Лп > Пх > Е > Д > Лц;
- кадмия: Т > Ос > С > Лц > Чер > Б > ВЗ > Пх > Лп > Е > Ол (ч) > Ол (с) > Д.

По интегральному индексу потребления минеральных веществ, который представляет собой среднее значение индексов содержания зольных элементов, на первом месте находится тополь бальзамический, а на последнем – дуб черешчатый (рис. 2). Наиболее стабильно сохраняет свое ранговое положение среди всех древесных пород в отношении содержания в их древесине зольных элементов черемуха птичья (рис. 3).

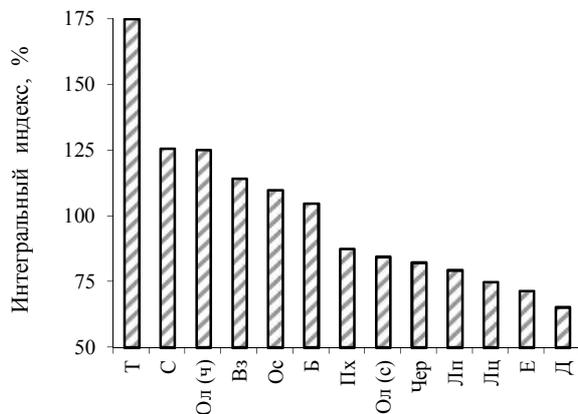


Рис. 2. Ранговый ряд пород деревьев по интегральному индексу потребления ими зольных веществ

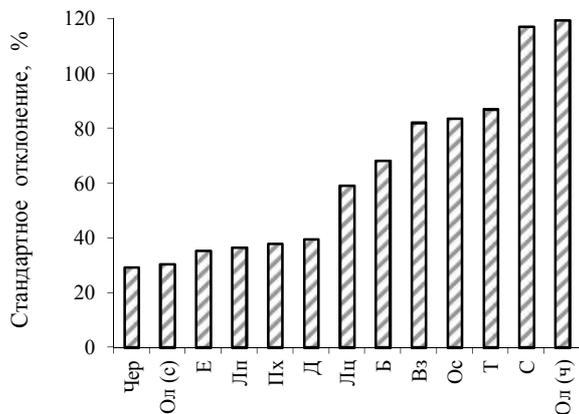


Рис. 3. Ранговый ряд пород деревьев по стандартному отклонению индекса потребления ими зольных веществ

Таблица 3

Содержание золы и зольных элементов в древесине различных пород деревьев

Древесное растение	Зола, %	Содержание химических элементов, мг/кг сухого вещества												
		Ca	K	Fe	Mn	Sr	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	Co	Cd	Сумма
Сосна	0,27	1111,8	274,0	53,4	4,08	-	5,59	1,148	0,648	0,141	0,778	0,610	0,191	1461,3
Ель	0,35	1399,5	245,8	11,0	9,78	12,54	7,76	1,560	1,491	0,157	0,110	0,091	0,041	1689,8
Пихта	0,46	1269,9	1001,9	16,9	16,96	6,85	6,16	1,363	2,228	0,237	0,180	0,098	0,049	2322,8
Лиственница	0,22	845,4	163,1	5,9	23,80	13,34	3,41	1,105	0,790	0,194	0,141	0,069	0,154	1057,4
Дуб	0,31	929,7	738,3	14,4	7,88	3,87	1,29	2,074	0,987	0,524	0,103	0,082	0,024	1699,2
Вяз	1,15	2282,2	2730,3	19,2	4,06	10,05	4,22	2,881	1,563	0,615	0,116	0,153	0,050	5055,4
Липа	0,52	1860,9	792,6	12,3	9,40	8,25	2,58	1,199	1,563	0,558	0,136	0,102	0,043	2689,6
Береза	0,45	1632,8	541,0	17,8	23,81	4,30	20,12	1,693	1,350	0,373	0,163	0,105	0,081	2243,6
Осина	0,58	2100,7	781,4	12,4	5,70	9,19	12,99	1,352	1,854	0,215	0,069	0,143	0,469	2926,5
Тополь	1,63	4759,3	1812,0	18,1	8,19	17,18	15,25	1,411	1,737	0,469	0,469	0,273	0,498	6634,8
Ольха черная	0,50	1212,6	599,6	131,1	15,02	4,10	5,08	2,335	1,596	0,502	0,251	0,147	0,039	1972,4
Ольха серая	0,43	1623,5	630,3	30,6	5,80	6,13	9,35	2,059	1,457	0,225	0,198	0,152	0,026	2309,8
Черемуха	0,45	1878,0	555,6	8,0	4,56	11,49	4,67	1,599	1,287	0,347	0,264	0,124	0,105	2466,0

Все древесные породы по содержанию в их древесине зольных элементов объединяются в два крупных кластера (рис. 4). В первый, возглавляемый сосной обыкновенной, входят ольха черная, осина и тополь бальзамический (берлинский), а во второй – все остальные породы во главе с елью и черемухой птичьей. Отдельный подкластер слагают светолюбивые породы: береза повислая и лиственница сибирская. Особняком от них отстоит вяз гладкий. Наибольшие различия между кластерами № 1 (сосновым) и № 2 (еловым) отмечаются по содержанию Fe, Pb, Co и Cd (рис. 5).

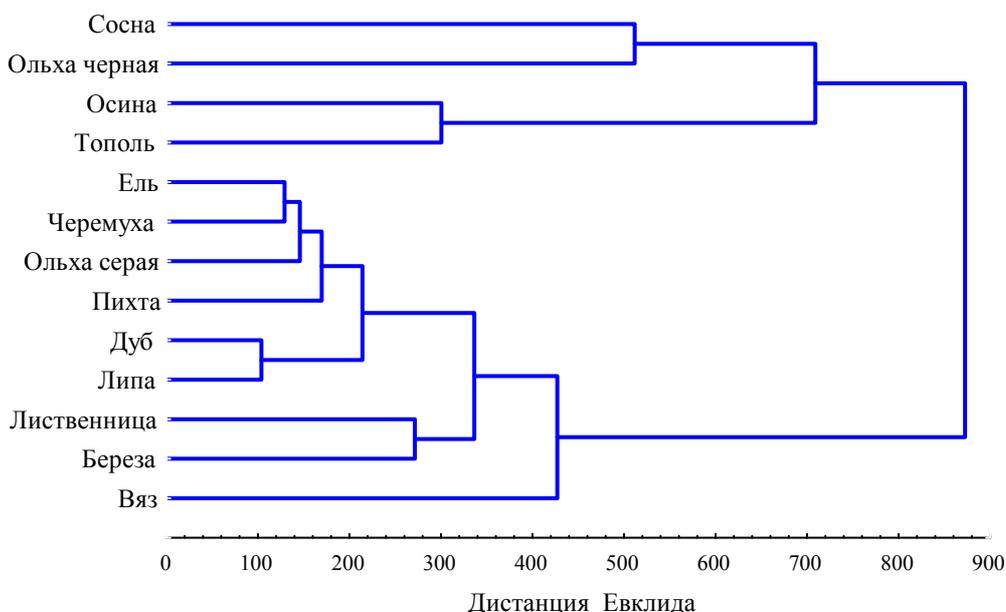


Рис. 4. Дендрограмма сходства пород деревьев по зольному составу их древесины, построенная способом Варда по матрице нормированных данных

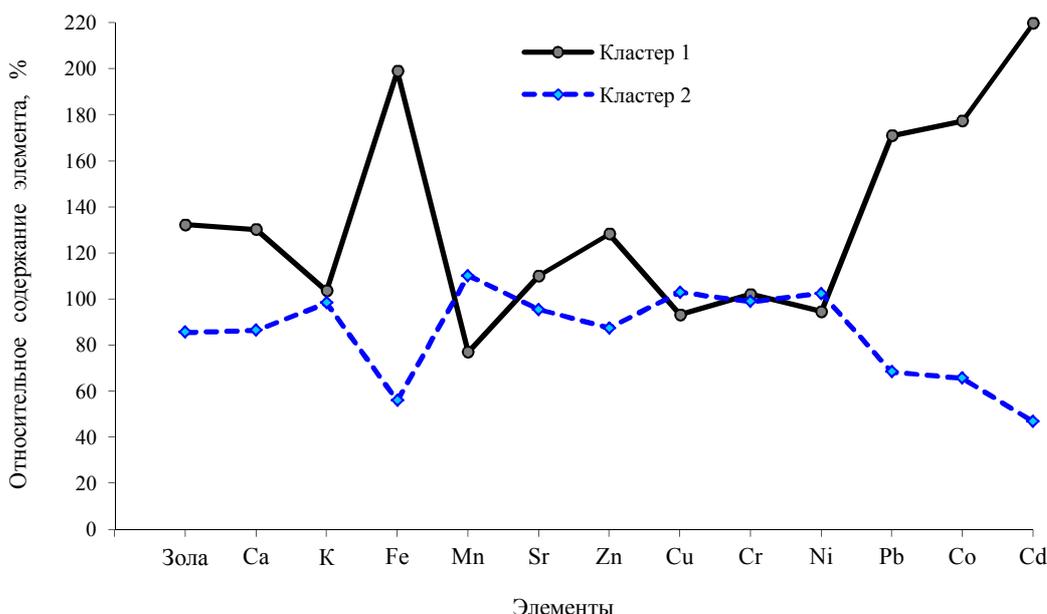


Рис. 5. Характер различия древесных растений, относящихся к разным кластерам, по зольному составу их древесины

Важным условием нормального протекания физиологических и биохимических процессов у деревьев является сбалансированность химического состава их тканей. Расчеты показали, что величина соотношения содержания зольных элементов в древесине различных пород деревьев довольно изменчива (табл. 4). Наиболее сильно варьирует величина пропорций К/Мn, Fe/Zn, К/Zn и Fe/Mn (табл. 5). Меньше всего изменяется соотношение Zn/Cu, К/Cu и Са/К. Ранговые ряды древесных растений по соотношению содержания зольных элементов выглядят следующим образом:

- Са/К: Е > Лц > С > Чер > Б > Ос > Т > Ол (с) > Лп > Ол (ч) > Пх > Д > Вз;
- К/Fe: Вз > Т > Чер > Лп > Ос > Пх > Д > Б > Лц > Е > Ол (с) > С > Ол (ч);
- К/Mn: Вз > Т > Ос > Чер > Ол (с) > Д > Лп > С > Пх > Ол (ч) > Е > Б > Лц;
- К/Zn: Вз > Д > Лп > Пх > Чер > Т > Ол (ч) > Ол (с) > Ос > С > Лц > Е > Б;
- К/Cu: Т > Вз > Пх > Лп > Ос > Д > Чер > Б > Ол (с) > Ол (ч) > С > Е > Лц;
- Fe/Mn: С > Ол (ч) > Ол (с) > Вз > Т > Ос > Д > Чер > Лп > Е > Пх > Б > Лц;
- Fe/Zn: Ол (ч) > Д > С > Лп > Вз > Ол (с) > Пх > Лц > Чер > Е > Т > Ос > Б;
- Zn/Cu: Б > Т > Ос > Е > С > Ол (с) > Пх > Лц > Чер > Ол (ч) > Лп > Вз > Д.

Таблица 4

Соотношение содержания элементов в древесине различных пород деревьев

Древесное растение	Среднее значение соотношения содержания элементов, доля единицы							
	Са/К	К/Fe	К/Mn	К/Zn	К/Cu	Fe/Mn	Fe/Zn	Zn/Cu
Сосна	4,1	5,1	67,2	49,0	238,7	13,1	9,5	4,9
Ель	5,7	22,4	25,1	31,7	157,6	1,12	1,4	5,0
Пихта	1,3	59,5	59,1	162,6	735,1	0,99	2,7	4,5
Лиственница	5,2	27,6	6,9	47,8	147,6	0,25	1,7	3,1
Дуб	1,3	51,3	93,7	571,9	356,0	1,83	11,2	0,6
Вяз	0,8	142,1	671,8	647,8	947,7	4,73	4,6	1,5
Липа	2,3	64,6	84,3	307,1	661,1	1,31	4,8	2,2
Береза	3,0	30,3	22,7	26,9	319,6	0,75	0,9	11,9
Осина	2,7	63,0	137,2	60,2	578,0	2,18	1,0	9,6
Тополь	2,6	100,3	221,2	118,8	1284,2	2,20	1,2	10,8
Ольха черная	2,0	4,6	39,9	118,1	256,8	8,73	25,8	2,2
Ольха серая	2,6	20,6	108,6	67,4	306,1	5,28	3,3	4,5
Черемуха	3,4	69,5	121,7	119,1	347,5	1,75	1,7	2,9

Таблица 5

Изменчивость соотношения содержания элементов в древесине различных пород деревьев

Соотношение элементов	Значения статистических показателей						
	M _x	min	max	S _x	m _x	V, %	P, %
Са/К	2,8	0,8	5,7	1,5	0,4	51,3	14,2
К/Fe	50,8	4,6	142,1	39,2	10,9	77,1	21,4
К/Mn	127,6	6,9	671,8	173,3	48,1	135,8	37,7
К/Zn	179,1	26,9	647,8	205,6	57,0	114,8	31,8
К/Cu	487,4	147,6	1284,2	339,6	94,2	69,7	19,3
Fe/Mn	3,4	0,2	13,1	3,7	1,0	110,0	30,5
Fe/Zn	5,4	0,9	25,8	7,0	1,9	129,7	36,0
Zn/Cu	4,9	0,6	11,9	3,6	1,0	74,2	20,6

Древесные породы объединяются по характеру соотношения в их древесине зольных элементов в четыре кластера (рис. 6). В первый входят сосна, ольха серая и черемуха, во второй, который является наиболее представительным, – ель, пихта, береза, осина и тополь, в третий – лиственница, липа и ольха черная. Резко отделен от них кластер, слагаемый дубом и вязом. Древесные породы первого и второго кластеров наиболее значительно различаются между собой по соотношению Zn/Cu (рис. 7). В породах, входящих в третий кластер, величина отношения Fe/Mn значительно выше, чем в первых двух кластерах, а четвертый кластер отличается от остальных большей величиной отношений K/Fe, K/Mn и особенно K/Zn.

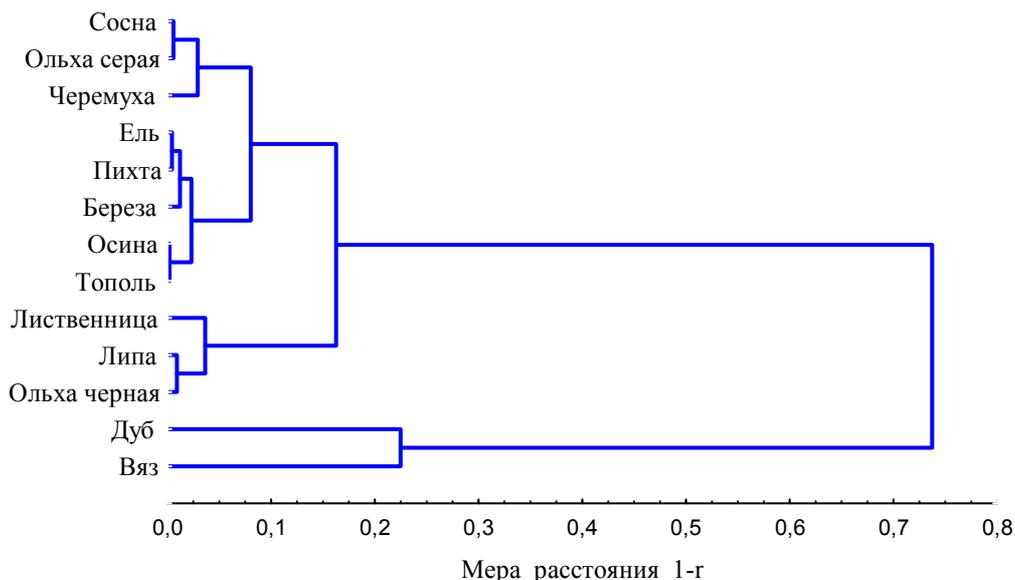


Рис. 6. Дендрограмма сходства пород деревьев по соотношению зольных элементов, построенная способом Варда по матрице коэффициентов корреляции

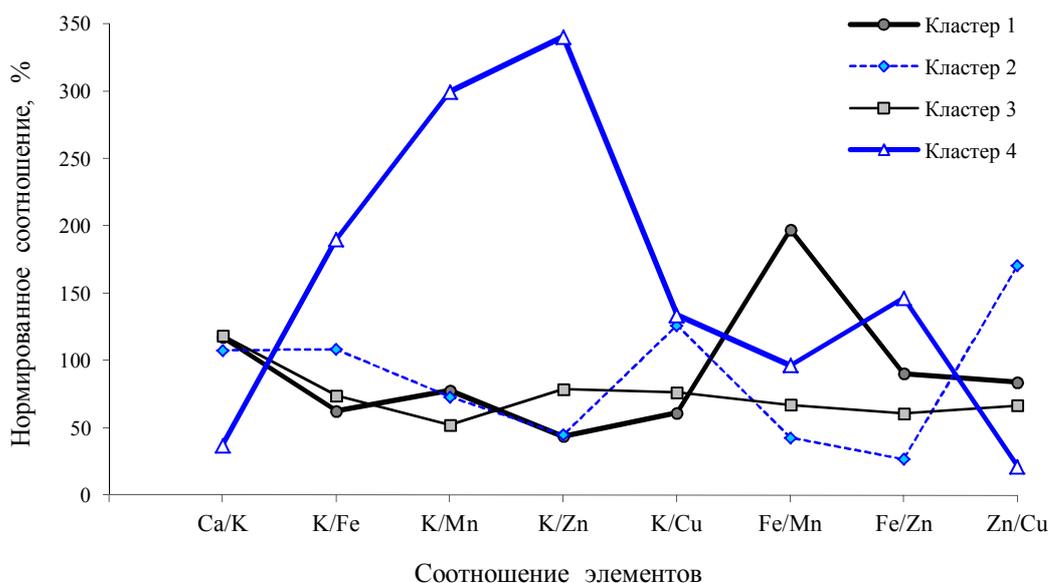


Рис. 7. Характер различия древесных растений, относящихся к разным кластерам, по соотношению зольных элементов в их древесине

По содержанию зольных элементов в древесине нельзя судить об их выносе деревьями из почвы. Для этого необходимо еще иметь сведения о динамике накопления запаса древесины и фитомассы стволов. Учет, проведенный в культурах тополя бальзамического и лиственницы сибирской, произрастающих в лесопарке «Дубовая роща», позволил установить величины этих таксационных параметров (табл. 6). Расчеты показали, что эти породы деревьев, находящиеся на разных полюсах ранговых рядов содержания зольных элементов, очень сильно различаются между собой по их годовичному потреблению (табл. 7), особенно калия, которого в древесине тополя накапливается в 11 раз больше, чем в древесине лиственницы. В процессе сплошной рубки тополельников, которую в эксплуатационных лесах проводят по регламенту с возраста старше 40 лет, будет вынесено за пределы биогеоценоза порядка 4,0 т/га зольных элементов, в том числе 444 кг/га калия, в котором растения особенно остро нуждаются.

Таблица 6

Таксационные показатели древостоя культур тополя и лиственницы в краткопойменном биотопе

Порода	Возраст, лет	Средние:		Густота, экз./га	Запас древесины		Годичный прирост	
		высота, м	диаметр, см		м ³ /га	т/га	м ³ /га	т/га
Тополь	60	32,0	24,0	1100	764	368,2	12,73	6,13
Лиственница	50	20,1	19,0	1680	486	313,0	9,72	6,26

Таблица 7

Ежегодное потребление минеральных веществ древостоями для образования древесины стволов

Порода	Ежегодное потребление минеральных веществ								
	кг/га			г/га					
	Зола	Ca	K	Fe	Mn	Sr	Zn	Cu	Cr
Тополь	99,9	29,2	11,1	111	50	105	93	8,6	10,6
Лиственница	13,8	5,3	1,02	37	149	84	21	6,9	4,9

Как же восполняется вынос минеральных веществ древесными растениями? Один из главных источников их восполнения – аэральные выпадения [17, 18]. Н.И. Пьявченко и З.А. Сибирева [19] установили, что ежегодно на поверхность земли выпадает вместе с осадками 106–164 кг пыли и 8–11 кг общего азота в переводе на 1 га. Последующие исследования [20], проведенные на болотах Вологодской и Томской областей, показали, что аэральные выпадения достигают 277–327 кг/га. По данным многолетних наблюдений в Московской области [21] было установлено, что с осадками и пылью ежегодно выпадает от 60 до 470 кг/га химических элементов и соединений, в том числе Mg – 17; Ca – 12,2; Na – 5,3; K – 5,0; N – 9,4 и P – 0,3 кг/га. В Эстонии с атмосферными выпадениями в почву поступает ежегодно: Ca – 5,8; Mg – 3,4; N – 2,8; K – 2,0; Fe – 0,7 и P – 0,094 кг/га [22]. Исследования Т.В. Глухой [23] показали, что ежегодное поступление с осадками составляет: HCO₃ – 10,2; Ca – 4,4; K – 2,6; Na – 2,5; NH₄ – 3,3 и NO₃ – 4,7 кг/га. Эти данные показывают, что атмосферные выпадения не восполняют выноса тополем кальция и калия, а других минеральных веществ они привносят с избытком. Потребление же всех зольных элементов лиственницей сибирской полностью восполняется их аэральными выпадениями.

Высокое потребление минеральных веществ тополем, вязом гладким и рядом других древесных растений не следует рассматривать только в негативном плане. Это их свойство можно использовать в фитомелиорации при создании насаждений на техногенно- или природно-загрязненных землях. Так, от избытка в почве марганца и цинка лучше всего позволит избавиться береза, меди и никеля – вяз гладкий, свинца и кобальта – сосна и тополь, кадмия – тополь и осина.

Выводы

1. Более всего в древесине всех пород деревьев содержится кальция, являющегося основой оболочки клеток. За ним следует калий. На порядок меньше в древесине железа, марганца, стронция и цинка. Замыкают ранговый ряд Ni, Pb, Co и Cd. Доля содержания в золе оцененных элементов составляет по массе в среднем 49,3%, изменяясь от 39,4 у ольхи черной до 54,8 % у дуба черешчатого.

2. Содержание золы и зольных элементов в древесине различных пород деревьев, произрастающих в одном биотопе, изменяется в довольно больших пределах. По величине коэффициента вариации элементы располагаются в следующий ранговый ряд: Fe > Cd > Co > Pb > K > Zn > Mn > Ca > Ni > Sr > Cu > Cr.

3. Содержание в древесине большинства элементов слабо связано между собой, а также с величиной зольности. Тесная связь отмечена только между зольностью древесины и содержанием в ней кальция и калия, а также между содержанием кобальта и свинца.

4. Древесные породы, произрастающие в пределах одного пойменного биотопа, существенно различаются между собой по эффективности использования ими питательных веществ. Больше всего затрачивает минеральных веществ на образование 1 кг древесины тополь бальзамический. Несколько уступает ему вяз гладкий. Эти две породы деревьев больше всех потребляют кальция и калия. Наиболее эффективно использует почвенный потенциал лиственница сибирская, в древесине которой золы содержится в 7,4 раза меньше, чем в древесине тополя – наиболее расточительной в экологическом плане породы. По содержанию в древесине Fe первое место занимает ольха черная, Mn и Zn – береза, Cu и Ni – вяз, Pb и Co – сосна, Cr – пихта, Sr и Cd – тополь.

5. Величина соотношения содержания зольных элементов в древесине различных пород деревьев довольно изменчива. Наиболее сильно варьирует величина пропорций K/Mn, Fe/Zn, K/Zn и Fe/Mn. Меньше всего изменяется соотношение Zn/Cu, K/Cu и Ca/K.

6. Все древесные породы по содержанию в их древесине зольных элементов объединяются в различные кластеры, которые существенно различаются между собой по содержанию Fe, Pb, Co и Cd, а также по соотношению Zn/Cu, Fe/Mn, K/Fe, K/Mn и особенно K/Zn.

7. Вынос зольных элементов из почвы большинством видов древесных растений полностью или частично восполняется атмосферными выпадениями, которые не удовлетворяют потребности в кальции и калии только тополя бальзамического и вяза гладкого. В процессе сплошной рубки насаждений, представленных последними двумя породами, из леса выносятся со стволовой древесиной значительная масса зольных элементов, которую в ряде случаев необходимо периодически восполнять для сохранения устойчивости функционирования биогеоценозов.

8. Свойство высокого потребления минеральных веществ рядом древесных растений можно использовать в фитомелиорации при создании насаждений на техногенно- или природно-загрязненных землях.

Список литературы

1. Бюсген, М. Строение и жизнь наших лесных деревьев / М. Бюсген. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1961. – 424 с.
2. Крамер, П.Д. Физиология древесных растений / П.Д. Крамер, Т.Т. Козловский. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 464 с.
3. Веретенников, А.В. Физиология растений с основами биохимии / А.В. Веретенников. – Воронеж: ВГУ, 1987. – 256 с.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Демаков, Ю.П. Изменчивость содержания зольных элементов в древесине, коре и хвое сосны обыкновенной / Ю.П. Демаков, Р.И. Винокурова, В.И. Таланцев, С.М. Швецов // Лесные экосистемы в условиях изменяющегося климата: биологическая продуктивность, мониторинг и адаптационные технологии: материалы международной конференции с элементами научной школы для молодежи [Электронный ресурс]. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2010. С. 32-37. <http://csfm.vlgatech.net/publications.html>
8. Демаков, Ю.П. Динамика содержания зольных элементов в годичных кольцах старовозрастных сосен, произрастающих в пойменных биотопах / Ю.П. Демаков, С.М. Швецов, В.И. Таланцев // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2011. – № 3. – С. 26-36.
9. Винокурова, Р.И. Специфичность распределения макроэлементов в органах древесных растений елово-пихтовых лесов Республики Марий

References

1. Byusgen M. Stroenie i zhizn' nashikh lesnykh derev'ev [Structure and life of our forest trees]. M. L.: Goslesbumizdat, 1961. 424 p.
2. Kramer, P.D., Kozlovskiy T.T. Fiziologiya drevesnykh rasteniy [Physiology of wood plants]. M.: Lesnaya promyshlennost', 1983. 464 p.
3. Veretennikov A.V. Fiziologiya rasteniy s osnovami biokhimii [Physiology of wood plants and basics of biochemistry]. Voronezh: VGU, 1987. 256 p.
4. Adamenko V.N., Zhuravleva E.L., A.F. Chetverikov. Khimicheskiy sostav godichnykh kolets derev'ev i sostoyanie prirodnoy sredy [Chemical composition of annual rings and the condition of environment]. Dokl. AN SSSR [Report of the Academy of Sciences of the USSR]. 1982. T. 265, No 2. P. 507-512.
5. Lyanguzova I.V, O.G. Chertov. Khimicheskiy sostav rasteniy pri atmosfernom i pochvennom zagryaznenii [Chemical composition of plants under atmospheric and soil pollution]. Lesnye ekosistemy i atmosfernoe zagryaznenie [Forest ecosystems and atmospheric pollution]. L.: Nauka, 1990. P. 75-87.
6. Demakov Yu.P. Safin M.G., Vinokurova R.I., Talantsev V.I., Shvetsov S.M. Khvoya kak indikator sostoyaniya sosnovykh molodnyakov na oligotrofnnykh bolotakh [Needles as the indicator of young pine trees growing on oligotrophic swamps]. Vestnik MarGTU. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Vestnik of MarSTU. Series.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2010. No 3. P. 95-107.
7. Demakov Yu.P., Vinokurova R.I., Talantsev V.I., Shvetsov S.M. Izmenchivost' soderzhaniya zol'nykh elementov v drevesine, kore i khvove sosny obyknovennoy [Variations of ash components contents in timber, bark and needles of Scotch pine] Lesnye ekosistemy v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata: biologicheskaya produktivnost', monitoring i adaptatsionnye tekhnologii: materialy mezhdunarodnoy konferentsii s elementami nauchnoy shkoly dlya molodezhi [Forest ecosystems under the conditions of changing climate: biological efficiency, monitoring and adaptation technologies: materials of the international conference]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2010. P. 32-37. <http://csfm.vlgatech.net/publications.html>
8. Demakov Yu.P., Shvetsov S.M., Talantsev V.I. Dinamika soderzhaniya zol'nykh elementov v godichnykh kol'tsakhstarovoz-rastnykh sosen, proizrastayushchikh v poymennykh biotopakh [Dynamics of ash constituents contents in annual rings of the old age pines growing in inundated biotopes] Vestnik MarGTU. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Vestnik of MarSTU. Series.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2011. No 3. P. 26-36.
9. Vinokurova R.I., Lobanova O.V. Spetsifichnost' raspredeleniya makroelementov v organakh drevesnykh rasteniy elovo-pikhtovykh lesov Respubliki

Эл / Р.И. Винокурова, О.В. Лобанова // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2011. – № 2. – С. 76-83.

10. *Ахромейко А.И.* Физиологическое обоснование создания устойчивых лесных насаждений / А.И. Ахромейко. – М.: Лесная промышленность, 1965. – 312 с.

11. *Ремезов, Н.П.* Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах европейской части СССР / Н.П. Ремезов, Л.Н. Быкова, К.М. Смирнова. – М.: МГУ, 1959. – 284 с.

12. *Родин, Л.Е.* Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара / Л.Е. Родин, Н.И. Базилевич. – М.-Л.: Наука, 1965. – 253 с.

13. Методика выполнения измерений валового содержания меди, кадмия, цинка, свинца, никеля, марганца, кобальта, хрома методом атомно-абсорбционной спектроскопии. – М.: ФГУ ФЦАО, 2007. – 20 с.

14. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 450 с.

15. *Афифи, А.* Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ / А. Афифи, С. Эйзен. – М.: Мир, 1982. – 488 с.

16. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Дж. Ким, Ч. Мьюллер, У. Клекка и др. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.

17. *Дроздова, В.М.* Химический состав атмосферных осадков на Европейской территории СССР / В.М. Дроздова, О.П. Петренчук, Е.С. Селезнева и др. – Л.: Гидрометеоздат, 1964. – 209 с.

18. *Черняева, Л.Е.* Химический состав атмосферных осадков (Урал и Приуралье) / Л.Е. Черняева, А.М. Черняев, А.К. Могиленских. – Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 179 с.

19. *Пьявченко, Н.И.* О роли атмосферной пыли в питании болот / Н.И. Пьявченко, З.А. Сибирева // Доклады АН СССР. – 1959. – Т. 124, № 2. – С. 414-417.

Mariy El [Distribution peculiarities of macroelements in wood plants of Mari El fir-tree woods]. Vestnik MarGTU. Series.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie [Vestnik MarSTU. Forest. Ecology. Nature Management]. 2011. No 2. P. 76-83.

10. *Akhromeyko A.I.* Fiziologicheskoe obosnovanie sozdaniya ustoychivykh lesnykh nasazhdeniy [Physiological grounding of sustainable forest plantation development]. M.: Lesnaya promyshlennost', 1965. 312 p.

11. *Remezov N.P., Bykova L.N., Smirnova K.M.* Potreblenie i krugovorot azota i zol'nykh elementov v lesakh evropeyskoy chasti SSSR [Consumption and circulation of nitrogen and ash constituents in the woods of the European part of USSR]. M.: MGU, 1959. 284 p.

12. *Rodin L.E., Bazilevich N.I.* Dinamika organicheskogo veshchestva i biologicheskiiy krugovorot zol'nykh elementov i azota v osnovnykh tipakh rastitel'nosti zemnogo shara [Dynamics of organic substances and biological circulation of ash elements and nitrogen in general types of vegetation on the globe]. M.-L.: Nauka, 1965. 253 p.

13. Metodika vypolneniya izmereniy valovogo soderzhaniya medi, kadmiya, tsinka, svintsa, nikelya, margantsa, kobal'ta, khroma metodom atomno-absorbtsionnoy spektroskopii [Methods of making measurements of the gross content of copper, cadmium, zinc, lead, nickel, manganese, cobalt, chrome method of nuclear and absorbing spectroscopy]. M.: FGU FTsAO, 2007. 20 p.

14. Metody biogeokhimicheskogo issledovaniya rasteniy [Methods of biogeochemical research of plants]. Edited by A.I.Ermakova. L.: Agropromizdat, 1987. 450 p.

15. *Afifi A., Eyzen S.* Statisticheskiiy analiz. Podkhod s ispol'zovaniem EVM [Statistical analysis. Computer-aided approach]. M.: Mir, 1982. 488 p.

16. *Kim Dzh., Myuller Ch., Klekka U., et al.* Faktornyy, diskriminantnyy i klasternyy analiz [Factorial, discriminant and cluster analysis]. M.: Finansy i statistika, 1989. 215 p.

17. *Drozдова V.M., Petrenchuk O.P., Selezneva E.S., et al.* Khimicheskiiy sostav atmosferynykh osadkov na Evropeyskoy territorii [Chemical composition of an atmospheric precipitation in the European part of USSR]. L.: Gidrometeoizdat, 1964. 209 p.

18. *Chernyaeva L.E., Chernyaev A.M., Mogilenskikh A.K.* Khimicheskiiy sostav atmosferynykh osadkov (Ural i Priural'e) [Chemical composition of atmospheric precipitation (The Urals and Transurals area)]. L.: Gidrometeoizdat, 1978. 179 p.

19. *P'yavchenko, N.I., Sibireva Z.A.* O roli atmosferynoy pyli v pitanii bolot [On the role of atmospheric dust in swamp nutrition]. Doklady AN SSSR [Reports of the USSR Academy of Sciences]. 1959. T. 124, No 2. P. 414-417.

20. *Пьявченко, Н.И.* Об изучении болот в связи с проблемой «Человек и биосфера» / Н.И. Пьявченко // История биogeоценозов СССР в голоцене. – М.: Наука, 1976. – С. 46-57.

21. *Шатилов, И.С.* Химический состав атмосферных осадков и поверхностно-стекаемых вод / И.С. Шатилов, А.Г. Замираев, Г.В. Чеповская // Докл. ВАСХНИЛ. – 1977. – № 6. – С. 1-3.

22. *Саарман, Т.Е.* О поступлении минеральных веществ из елово-лиственного опада в бурую псевдоподзолистую почву / Т.Е. Саарман // Бюлл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. – 1979. – Вып. 20. – С. 19-21.

23. *Глухова, Т.В.* Поступление с осадками и вынос элементов минерального питания с осушенных лесных верховых болот / Т.В. Глухова // Освоение осушенных земель в Марийской АССР и ускорение научно-технического прогресса в гидроресомелиорации. – Йошкар-Ола, 1986. – С. 44-45.

20. *P'yavchenko N.I.* Ob izuchenii bolot v svyazi s problemoy «Chelovek i biosfera» [The study of swamps in connection with a problem «Humans and biosphere»]. Istoriya biogeotsenozov SSSR v golotsene [History of biogeocenoses of the USSR in holocene]. M.: Nauka, 1976. P. 46-57.

21. *Shatilov I.S., Zamaraev A.G., Chepovskaya G.V.* Khimicheskiy sostav atmosferynykh osadkov i poverkhnostno-stekaemykh vod [Chemical composition of atmospheric precipitation and surface sewage waters]. Dokl. VASKhNIL [Report of VASHNIL]. 1977. No 6. P. 1-3.

22. *Saarman T.E.* O postuplenii mineral'nykh veshchestv iz elovo-listvennogo opada v buruyu psevdopodzolistuyu pochvu [On introduction of mineral substances from fir-tree fall into pseudo-podsolic soil]. Soil Institute named after V. V. Dokuchayev. 1979. Vol. 20. P. 19-21.

23. *Glukhova T.V.* Postuplenie s osadkami i vynos elementov mineral'nogo pitaniya s osushennykh lesnykh verkhovykh bolot [Input and removal of mineral elements from drained forest high moors]. Osvoenie osushennykh zemel' v Mariyskoy ASSR i uskorenie nauchno-tekhnicheskogo progressa v gidrolesomelioratsii [Development of the drained lands in Mariyskaya ASSR and acceleration of scientific and technical progress in a hydro forest melioration]. Yoshkar-Ola, 1986. P. 44-45.

Статья поступила в редакцию 23.01.12.

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

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры управления природопользованием и лесозащиты, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – биogeоценология, дендрохронология. Автор 220 научных и учебно-методических работ, в том числе трех монографий и пяти учебных пособий.

E-mail: DemakovYP@volgatech.net

ИСАЕВ Александр Викторович – кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора, ГПЗ «Большая Кокшага» (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – экология пойменных земель: изучение почвенного покрова, строения и динамики пойменных фитоценозов. Автор более 30 публикаций, в том числе одной монографии.

E-mail: nauka_gps@yolamail.ru

ШВЕЦОВ Андрей Михайлович – ассистент кафедры безопасности жизнедеятельности, Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов – биogeоценология. Автор пяти публикаций.

E-mail: shvecov_andrei@mail.ru

ДЕМАКОВ Yury Petrovitch – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Chair of Nature Management and Forest Protection, Volga State University of Technology (Russian Federation, Yoshkar-Ola). Scientific interests – biogeocenology, dendrochronology. Author of 220 scientific and educational papers, including three monographs and five training manuals.

E-mail: DemakovYP@volgatech.net

ISAEV Alexander Victorovich – Candidate of Agricultural Sciences, Deputy Director for Science of the state wildlife preservation «Bol'shay Kokshaga» (Russian Federation, Yoshkar-Ola). Scientific interest – flood plain lands ecology: study of soil continuum, inundable plant community structure and dynamics. The author of more than 30 publications, including one monograph.

E-mail: nauka_gpz@yolamail.ru

SHVETSOV Andrey Mikhaylovich – Assistant of the Chair Health and Safety, Volga State University of Technology (Russian Federation, Yoshkar-Ola). Scientific interests – a biogeocenology. Author of five publications.

E-mail: shvecov_andrei@mail.ru

Yu.P. Demakov, A. V. Isaev, A.M. Shvetsov

CONSUMPTION AND REMOVAL OF ASH CONSTITUENTS FROM WOODEN PLANTS IN THE INUNDATED BIOTOPE

Key words: *wooden plants; ash constituents; consumption and removal.*

Data on ash composition of wood of 13 various tree types growing in short-term flooding biotope are provided. It has been concluded that the contents of calcium forming the basis of the cell wall is the highest in all tree types. Then follows kalium. Iron, manganese, strontium and zinc are one order less in the wood. Ni, Pb, Co and Cd are at the end of the range. The amount of elements under study found in ashes constitutes roughly 49.3 %, varying from 39.4 % for black alder to 54.8 % for English oak. The content of ash and ash constituents in different types of trees varies significantly. Based on the coefficient of variation the elements are ranged as follows: Fe > Cd > Co > Pb > K > Zn > Mn > Ca > Ni > Sr > Cu > Cr.

Tree species significantly differ from each other depending on the efficiency of nutrients consumption. Rough-bark poplar requires more mineral substances to produce 1 kg timber. European white elm features a little lower value. These two tree species consume most calcium and potassium. Siberian larch is the one that uses soil potential most effectively with the contents of ash 7.4 times less than poplar's.

When carrying out clear cutting procedures most of the ash elements are removed from the forest. It is especially true for calcium and kalium. This lack of mineral elements has to be replenished for sustainability of biogeocenosis. The gross annual consumption of major mineral elements has been conducted as well as their total accumulation in the stem wood and removal beyond biogeocenosis when clear cutting occurs.