

ОРИГИНАЛЬНЫЕ
СТАТЬИ

УДК 630*187:582.475:630*221.01:581.131(1–924.82)

**ВЫНОС УГЛЕРОДА И ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ
ПРИ СПЛОШНОЛЕСОСЕЧНЫХ РУБКАХ ЕЛЬНИКОВ
СРЕДНЕЙ ТАЙГИ***

© 2012 г. К. С. Бобкова, Н. В. Лиханова

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
167982 г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28
E-mail: bobkova@ib.komisc.ru
Поступила в редакцию 20.08.2011*

Дана оценка аккумуляции углерода и элементов минерального питания в фитомассе древостоев старовозрастных среднетаежных ельников, развитых на торфянисто-подзолисто-глееватых почвах. Показано, что в процессе сплошнолесосечной рубки в зимний период при хлыстовой трелевке с предварительной обработкой крон на лесосеке с одного гектара ельника черничного влажного выносятся 37.82 т С, 351 кг элементов минерального питания, а ельника долгомшно-сфагнового 36.49 т и 355 кг соответственно. При сплошнолесосечной заготовке древесины в ельниках более половины массы химических элементов, сконцентрированных в древостоях, остается на лесосеке.

Север России, средняя тайга, ельник, фитомасса, сплошнолесосечные рубки, углерод, азот, зольные элементы.

В Республике Коми еловые леса занимают 16.2 млн. га. В этом регионе сохранились значительные площади спелых и перестойных насаждений и их рассматривают как главный источник развития лесозаготовок. В настоящее время в ельниках республики ежегодно заготавливается 5–6 млн. м³ древесины. В связи с этим происходят изменения в составе, структуре и продуктивности еловых сообществ [5]. Отдельные аспекты изменения средообразующих функций растительных сообществ на вырубках еловых лесов европейского Севера освещены в работах [14, 23, 27 и др.]. После рубки отмечены существенные изменения радиационного режима в фитоценозах, физических свойств и гидротермических условий почв. К настоящему времени накоплено мало сведений, характеризующих вынос углерода и элементов минерального питания при рубках главного пользования. Эти вопросы рассмотрены в работе [22], где показано влияние постепенных и сплошных рубок на почвы и круговорот питательных элементов в еловых и лиственно-еловых насаждениях Московской обл. Показано, что при

постепенных рубках ельников и березово-еловых насаждений при хлыстовой вывозке выносятся около 50% запаса питательных элементов, накопленных в срубленной части древостоев. Согласно [10], после рубки древостоя сосняков запасы органического вещества в ценозе уменьшаются почти в два раза, теряется азот, реже фосфор, содержание калия, кальция и магния изменяется мало. По [3], вынос элементов минерального питания при сплошнолесосечной рубке сосняков зеленомошной группы типов составляет при хлыстовой вывозке 54%, при вывозке с кронами 66% от их общего запаса в надземных органах деревьев в древостоях.

Целью данной работы является оценка выноса углерода, азота и зольных элементов при сплошнолесосечных рубках ельников средней тайги.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в подзоне средней тайги Республики Коми. Экспериментальные работы выполнены на территории Чернамского лесного стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН (62°01' с.ш., 52°28' в.д.). Согласно ОСТ

* Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН № 16.

Таблица 1. Лесоводственно-таксационная характеристика ельников

Тип леса	Состав древостоя	Порода	Возраст, лет	Число деревьев, экз. га ⁻¹		Запас древесины, м ³ га ⁻¹		Средняя высота, м	Средний диаметр, см
				растущих	сухих	растущих	сухих		
Черничный влажный	7Е2Б1С	Ель	70–210	1045	75	174	6	14	16
		Сосна	170	30	–	19	–	20	27
		Береза	130	395	–	72	–	16	14
		ИТОГО	–	1470	75	265	6	–	–
Долгомошно-сфагновый	6ЕЗБ1С	Ель	70–200	1425	100	153	5	11	13
		Сосна	130	69	–	29	–	18	24
		Береза	70–130	406	–	61	–	12	16
		ИТОГО	–	1900	100	243	5	–	–

59–69–83 [12] в 1978 г. были заложены постоянные пробные площади в коренных ельниках черничном влажном и долгомошно-сфагновом. Повторные исследования выполнены в 2003 г. Анализ таксационных материалов проведен по [6], геоботаническое описание составлено по [28], названия растений даны согласно [26]. Краткая характеристика исследуемых насаждений по состоянию на 2003 г. приведена в табл. 1.

Ельник черничный влажный образует разновозрастный (70–210 лет), разновысотный, но без ясно выраженного второго яруса древостой. Запасы стволовой древесины составляют 271 м³га⁻¹. Ель представлена несколькими возрастными генерациями. Подлесок состоит из единичных экземпляров можжевельника, ивы, рябины и шиповника. Равномерно расположенный подрост густотой 1.62 тыс. экз. га⁻¹ представлен в основном елью. В травяно-кустарничковом ярусе с проективным покрытием 40–50% первый подъярус (высотой до 40 см) образуют черника, брусника, костяника, золотая розга. Второй подъярус (высотой до 10 см) формируют кислица, майник, седмичник, линнея северная, герань, гудайера ползучая. Моховой покров с проективным покрытием 90–95% образуют *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi* и *Dicranum polysetum*, пятнами *Polytrichum commune* и сфагновые мхи sp.

Ельник долгомошно-сфагновый образует разновозрастный (70–200 лет), разновысотный древостой. Запасы древесины составляют 248 м³га⁻¹. Довольно много сухостойных деревьев ели. В подлеске встречаются единично рябина, ива, шиповник. Подрост густотой 1.85 тыс. экз. га⁻¹ удовлетворительного состояния образован в основном елью. Травяно-кустарничковый ярус с проективным покрытием около 40% состоит из черники, брусники, морозики, хвоща, осоки шаровидной. Моховой покров почти сплошной, состоит в основном из *Polytrichum commune* в соче-

тании со сфагновыми и редко зелеными мхами. Как ельник черничный влажный, так и ельник долгомошно-сфагновый развиваются на слабодренированных торфянисто-подзолисто-глева-тых супесчаных на суглинках почвах.

В зимний период 2006 г. в рассматриваемых ельниках проведена сплошнолесосечная рубка с хлыстовой вывозкой древесины. Применен трехпасечный способ разработки лесосек с сохранением подроста [9, 21]. Общая площадь трелевочных волоков составляет около 10%, что отвечает лесохозяйственным требованиям [17, 21]. В 2009 г. начаты исследования на вырубках. В пределах постоянных пробных площадей проведен пересчет деревьев, учет запасов древесины и фитомассы оставленных семенников и деревьев в недорубе, а также сухостоя. Фитомасса порубочных остатков – вершин и обломков деревьев определена по объему и плотности древесины. Сделан пересчет подроста по [15].

Запасы органической массы древесных растений определены методом модельных деревьев [25]. Проанализировано 20 модельных деревьев в ельнике черничном влажном и 23 – в долгомошно-сфагновом. Содержание углерода в древостоях вычисляли на основании данных фитомассы и концентрации углерода в отдельных ее фракциях, приведенных в работе [2]. Концентрация азота и зольных элементов в отдельных фракциях фитомассы растений определяли на базе экоаналитической лаборатории “Экоаналит” Института биологии Коми НЦ Уро РАН, аккредитованной в Системе аккредитации аналитических лабораторий (центров) Росстандарта России (аттестат РОСС RU.0001.511257 от 16 апреля 2009 г.). Растительные образцы отбирались в середине кроны с 10 модельных деревьев ели, сосны, березы, взятых для определения фитомассы. Оценка содержания азота в растительных образцах проводилась методом газовой хроматографии на авто-

матическом анализаторе азота ФТФ-1500 фирмы Карло Эрба (Италия). Концентрация Ca, Si, Mg, Mn определена с использованием метода зольного анализа [16] и на атомно-абсорбционном спектрофотометре Hitachi 18–60 МГА-915 (Япония), а концентрация K, Na, P, Fe, Al – методом плазменной фотометрии на спектрофотометре SP-90A (Великобритания).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Подтверждается ранее установленная связь фитомассы отдельных компонентов деревьев с их диаметром, описываемая регрессионными уравнениями [7, 24, 25]. Полученные значения коэффициентов детерминации и абсолютная ошибка уравнений определения массы отдельных компонентов в исследуемых ельниках средней тайги приведены в табл. 2.

Углерод фитомассы. Как видно из табл. 3, в ельнике черничном влажном фитомасса растущих органов древесных растений до рубки равна 179.3 т га⁻¹, или 85.45 т С га⁻¹. Довольно близкие данные по запасам органической массы (178 т га⁻¹) для ельника черничного влажного приведены ранее [1]. Соотношение компонентов, образующих углерод органического вещества древостоя, следующее: на долю стволовой древесины приходится 54.3%, ветвей 9.4, коры стволовой 6.9, листьев (хвои) 8.2, корней 21.1% от общей массы живых органов древесных растений. Масса сухостойных деревьев составляет 1.08 т га⁻¹, или 0.52 т С га⁻¹. В долгомошно-сфагновом ельнике фитомасса растущих органов древостоя равна 192.5 т га⁻¹, или 91.76 т С га⁻¹. Распределение углерода фитомассы по компонентам следующее: стволовой древесины 53.3%, ветвей 9.3, коры стволовой 7.6, листьев (хвои) 7.9, корней 22.0% от общей массы органического вещества древостоя. В сухостойных деревьях сосредоточено 1.2 т га⁻¹ органической массы, или 0.58 т С га⁻¹.

На вырубках ельников после сплошнолесосечной рубки среди лесосечных отходов значительная доля общего объема древесины приходится на тонкомерные деревья диаметром на высоте 1.3 м менее 14 см и семенники. Согласно [11], ресурсы тонкомерной древесины на ежегодно отведенных лесосеках не поддаются точному учету и ориентировочно составляют 4–5% объема лесозаготовок. Неиспользованная тонкомерная древесина на отдельных лесосеках, пройденных рубками главного пользования в условиях Республики Коми, достигала 20% от общего запаса. По нашим данным, запасы тонкомерной древесины и семенников на вырубке ельника черничного влажно-

го составляют 15.9, а в долгомошно-сфагновом – 15.4% от общего объема стволовой древесины растущих деревьев. В составе лесосечных отходов встречаются довольно крупные отрезки вершин и обломков стволов. Наименьший диаметр вершин, с учетом минимально допустимого стандартом диаметра балансов, должен быть не более 6 см [21]. По [11], суммарное выражение потери древесины в вершинах деревьев, отрезаемых диаметром меньше предусмотренного стандартом, достигает значительного объема. Количество обломков стволов и вершин деревьев на лесосеках после сплошнолесосечных рубок таежной зоны составляет более 6.6% запаса древесины. Согласно оценкам, объем древесины в вершинах и в обломках после рубки древостоя в ельнике черничном влажном составил 10 и 1%, а ельнике долгомошно-сфагновом 9 и 0.7% соответственно от запаса стволовой древесины на 1 га, что сопоставимо с приведенными выше данными.

После сплошнолесосечной рубки в ельнике черничном влажном количество растущих деревьев, оставленных в недорубе и семенниках, составляет 400, сухостойных – 30 экз. га⁻¹ (табл. 4). Запасы фитомассы не срубленных деревьев равны 32.6 т га⁻¹, или 15.52 т С га⁻¹. Сухостойные деревья образуют массу 0.21 т га⁻¹, или 0.10 т С га⁻¹. В порубочных остатках вершин и обломков деревьев концентрируется 10.64 т га⁻¹ фитомассы, или 5.08 т С га⁻¹ (табл. 5). В ельнике долгомошно-сфагновом при рубке оставлены тонкомерные деревья ели, сосны, березы и семенники в количестве 588 экз. га⁻¹, в которых заключено 45.13 т га⁻¹ фитомассы, или 21.59 т С га⁻¹. Сухостойные деревья 212 экз. га⁻¹ образуют массу 4.25 т га⁻¹, или 2.05 т С га⁻¹. Запасы фитомассы порубочных остатков древесных растений на вырубке данного ценоза составляют 14.16 т га⁻¹, или 6.76 т С га⁻¹. Таким образом, анализ динамики содержания углерода в древесных растениях фитоценоза показал, что при сплошнолесосечной рубке древостоя с хлыстовой вывозкой древесины ельника черничного влажного выносятся 37.82, а ельника долгомошно-сфагнового – 36.49 т С га⁻¹, что составляет 44 и 39.5% от общего содержания углерода в древесных растениях насаждений соответственно (рис. 1).

Элементы минерального питания. К настоящему времени накоплен значительный материал о химическом составе древесных растений в еловых сообществах. Анализ его показывает, что содержание азота и зольных элементов в них колеблется в широких пределах и определяется как видоспецифичностью растений, так и почвенно-климатическими условиями [4, 7, 8, 19, 20 и др.].

Таблица 2. Связь сухой массы компонентов деревьев с диаметром ствола в ельниках

Тип ельника	Порода	Фракция фитомассы	Уравнение	Коэффициенты		Индекс детерминации	Абсолютная погрешность
				<i>a</i>	<i>b</i>		
Черничный влажный	Ель	древесина стволовая	$y=ax^b$	0.0484	2.5475	0.968	±1.0
		кора стволовая	$y=ax^b$	0.0167	2.1607	0.940	±1.4
		ветви живые	$y=ax^b$	0.0956	1.6932	0.868	±2.1
		ветви сухие	$y=ax^b$	0.0044	2.144	0.706	±3.1
		хвоя	$y=ax^b$	0.0449	2.0365	0.912	±1.7
		корни	$y=ax^b$	0.0206	2.5452	0.963	±1.1
	Сосна	древесина стволовая	$y=ax-b$	12.152	130.86	0.861	±2.0
		кора стволовая	$y=ax+b$	0.2524	3.2696	0.592	±3.5
		ветви живые	$y=ax-b$	1.7097	20.732	0.754	±2.7
		ветви сухие	$y=ax-b$	0.7271	12.576	0.784	±2.5
		хвоя	$y=ax-b$	0.5642	6.1416	0.424	±4.1
		корни	$y=ax-b$	3.3829	40.192	0.921	±1.5
	Береза	древесина стволовая	$y=ax^b$	0.0207	2.8157	0.711	±2.0
		кора стволовая	$y=ax^b$	0.002	3.045	0.811	±1.6
		ветви живые	$y=ax^b$	0.0006	3.3996	0.939	±0.9
		ветви сухие	$y=ax^b$	0.0023	1.7007	0.221	±3.2
		листья	$y=ax^b$	0.0003	3.1505	0.677	±2.1
	Долгомошно-сфагновый	Ель	древесина стволовая	$y=ax^b$	0.029	2.779	0.985
кора стволовая			$y=ax^b$	0.002	2.847	0.873	±2.2
ветви живые			$y=ax^b$	0.023	2.166	0.964	±1.2
ветви сухие			$y=ax^b$	0.004	2.157	0.716	±3.3
хвоя			$y=ax^b$	0.036	2.087	0.960	±1.2
корни			$y=ax^b$	0.094	1.902	0.885	±1.6
Сосна		древесина стволовая	$y=ax-b$	11.30	126.7	0.614	±2.2
		кора стволовая	$y=ax^b$	0.161	1.258	0.808	±3.7
		ветви живые	$y=ax^b$	0.045	1.908	0.808	±2.9
		ветви сухие	$y=ax^b$	0.001	2.503	0.633	±2.7
		хвоя	$y=ax-b$	0.495	3.960	0.460	±4.4
		корни	$y=ax^b$	0.094	1.902	0.885	±1.6
Береза		древесина стволовая	$y=ax^b$	0.051	2.480	0.752	±1.9
		кора стволовая	$y=ax^b$	0.006	2.614	0.824	±1.6
		ветви живые	$y=ax-b$	0.773	5.904	0.704	±2.1
		ветви сухие	$y=ax-b$	0.037	0.236	0.339	±3.1
		листья	$y=ax^b$	0.0005	3.094	0.794	±1.7

Рассмотрение материалов минерального состава различных органов ели, сосны, березы, произрастающих в исследуемых ельниках на болотно-подзолистых почвах средней подзоны тайги, показало, что эти древесные растения характеризуются низким содержанием минеральных элементов (1–3%), что подтверждает закономерности, ранее установленные для среднетаежных ельников [4, 13, 18]. Наиболее богатой элементами минерального питания является листва (хвоя),

затем тонкие корни и ветви, а самой низкосолевой – древесина ствола.

Так, в старовозрастном ельнике черничном влажном азот, удерживаемый древесной растительностью, составляет 507 кг га⁻¹. Содержание его в фитомассе ели равно 353, березы – 142, сосны – 11 кг га⁻¹. В ельнике долгомошно-сфагновом до рубки в древесных растениях концентрируется 578 кг га⁻¹ азота, из них в фитомассе деревьев ели сосредоточено 407, березы – 151, сосны –

Таблица 3. Фитомасса и содержание в ней углерода, азота и зольных элементов в древостоях ельников, кг га⁻¹

Тип ельника	Компоненты	Фито-масса	С	N	Зольные элементы								Всего			
					Ca	K	Si	Mg	P	Mn	Al	Fe		Na	Cl	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Черничный влажный	Ель:	65 550	31 130	98.33	91.77	26.22	6.56	7.21	13.11	10.49	0.66	0.20	0.66	0.66	157.52	
	древесина стволовая	7 220	3 600	31.77	26.79	16.46	3.61	2.17	1.16	2.02	0.65	0.14	0.43	0.22	53.64	
	кора стволовая	10 610	5 190	35.01	39.68	20.16	6.37	3.08	1.91	3.08	1.17	0.42	0.64	0.21	76.71	
	ветви живые	1 810	880	5.97	6.77	3.44	1.09	0.52	0.33	0.52	0.20	0.07	0.11	0.04	13.09	
	ветви сухие	13 490	6 220	129.37	74.20	63.54	43.44	13.49	19.16	13.76	2.16	0.67	1.21	0.81	232.43	
	хвоя	27 710	13 380	52.65	36.02	33.25	24.94	8.31	8.31	9.57	24.94	15.14	5.54	0.83	166.86	
	корни	1080	523	1.75	1.48	0.69	0.36	0.18	0.25	0.23	0.30	0.18	0.07	0.02	3.75	
	сухостой*	127 470	60 923	354.85	276.71	163.76	86.36	34.96	44.22	39.68	30.06	16.83	8.66	2.78	704.00	
	Сосна:	6 280	3 010	3.14	3.14	1.63	0.63	0.75	0.13	0.13	1.13	0.13	0.03	0.13	0.06	7.75
	древесина стволовая	310	150	1.30	1.16	0.41	0.03	0.20	0.11	0.07	0.07	0.12	0.01	0.02	0.01	2.15
кора стволовая	810	380	2.03	1.50	0.80	0.49	0.37	0.14	0.06	0.06	0.09	0.01	0.02	0.01	3.48	
ветви живые	230	110	0.58	0.43	0.23	0.14	0.11	0.04	0.04	0.02	0.03	0.002	0.01	0.002	0.99	
ветви сухие	290	130	3.47	0.77	1.23	0.18	0.23	0.29	0.23	0.08	0.02	0.03	0.02	0.02	3.08	
хвоя	1 640	810	0.66	1.82	2.13	0.11	0.66	0.34	0.34	0.28	0.16	0.03	0.10	0.03	5.67	
корни	9 560	4 590	11.17	8.81	6.43	1.58	2.32	1.05	1.79	0.61	0.10	0.30	0.14	0.14	23.12	
Береза:	25 580	12020	40.93	14.58	7.16	12.79	3.84	1.53	1.53	6.40	0.51	0.77	0.26	0.26	48.09	
древесина стволовая	4 800	2 410	20.16	6.24	1.44	0.10	0.96	0.96	0.96	0.91	0.48	0.96	0.10	0.96	13.10	
кора стволовая	3 360	1 550	11.42	17.14	2.02	1.44	2.02	1.28	1.28	2.02	0.71	0.50	0.30	0.17	27.59	
ветви живые	110	50	0.37	0.56	0.07	0.05	0.07	0.04	0.04	0.07	0.02	0.02	0.01	0.01	0.90	
ветви сухие	980	460	19.11	7.55	7.87	0.94	2.60	2.27	1.48	1.48	0.20	0.07	0.09	0.08	23.14	
листья	8 520	3 970	50.27	15.93	16.44	2.81	5.54	5.28	1.70	6.99	8.86	0.26	0.26	0.26	64.07	
корни	43 350	20 460	142.26	62.00	35.00	18.13	15.01	11.37	56.64	12.57	8.90	11.18	1.01	1.72	176.89	
Всего	180 380	85 973	508.28	347.51	205.19	106.07	52.29	56.64	54.03	39.58	28.10	9.97	4.64	4.64	904.02	
ИТОГО	Ель:	67 690	32 150	88.00	94.77	25.05	6.77	8.12	13.54	4.06	2.71	2.71	0.68	4.06	162.46	
Долгомошно-сфагновый	древесина стволовая	9 650	4 810	48.25	35.80	18.34	1.74	7.33	4.34	3.47	2.32	0.29	0.58	0.58	74.79	
	кора стволовая	11 130	5 440	36.73	60.10	13.36	6.79	11.69	11.91	3.67	3.23	1.45	1.34	0.89	114.42	
	ветви живые	1 840	900	6.07	9.94	2.21	1.12	1.93	1.97	0.61	0.53	0.24	0.22	0.04	18.80	
	ветви сухие	13 810	6 370	174.01	120.70	74.16	37.29	19.06	24.86	12.15	4.14	0.97	1.10	0.41	294.84	
	хвоя	28 620	13 820	54.38	37.49	34.34	7.44	3.15	2.58	1.14	2.00	1.72	0.29	1.72	91.87	
	корни	1 200	581	1.74	1.65	0.69	0.17	0.14	0.21	0.07	0.06	0.05	0.01	0.07	3.12	
	сухостой*	133 940	64 071	409.17	360.45	168.14	61.31	51.42	59.40	25.18	14.99	7.42	4.22	7.77	760.30	
	Всего															

Сосна:	9 810	4 690	4 91	4 91	2 55	0 98	1 18	0 20	1 77	0 20	0 04	0 20	0 10	12 11
древесина стволовая	600	290	2 25	2 52	0 79	0 06	0 40	0 22	0 14	0 24	0 02	0 04	0 01	4 16
кора стволовая	1 390	660	2 57	3 48	1 38	0 83	0 64	0 24	0 10	0 15	0 01	0 04	0 01	5 98
ветви живые	540	250	1 00	1 35	0 53	0 32	0 25	0 09	0 04	0 06	0 005	0 02	0 005	2 32
ветви сухие	540	250	1 43	6 46	2 29	0 33	0 42	0 54	0 43	0 15	0 04	0 05	0 04	5 73
хвоя	2 870	1 420	3 19	1 15	3 73	0 20	1 15	0 60	0 49	0 29	0 06	0 17	0 06	9 93
корни	15 750	7 560	15 34	19 86	11 27	2 73	4 03	1 88	2 96	1 09	0 18	0 51	0 23	40 22
Всего														
Береза:	25 060	11 770	14 28	40 10	7 02	12 53	3 76	1 50	6 27	0 50	0 75	0 25	0 25	47 11
древесина стволовая	4 380	2 200	5 69	18 40	1 31	0 88	0 88	0 88	0 83	0 44	0 09	0 09	0 09	11 17
кора стволовая	2 780	1 280	8 15	9 45	3 53	0 64	1 78	1 33	0 53	0 31	0 11	0 06	0 14	16 57
ветви живые	150	70	0 44	0 51	0 19	0 03	0 10	0 07	0 03	0 02	0 01	0 002	0 01	0 90
ветви сухие	820	390	5 30	18 86	6 01	0 52	2 31	1 61	0 63	0 11	0 05	0 04	0 02	16 61
листья	10 770	5 000	20 14	63 54	20 79	3 55	7 00	6 68	2 15	8 83	11 20	0 32	0 22	80 88
корни	43 960	20 710	54 00	150 86	38 85	18 16	15 82	12 07	10 44	10 21	12 21	0 76	0 73	173 24
Всего	193 650	92 341	429 79	579 89	218 26	82 21	71 28	73 35	38 58	26 28	19 80	5 49	8 73	973 77
ИТОГО														

* Включает ствол, ветви, корни.

20 кг га⁻¹. В древесных растениях исследуемых сообществ наибольшее количество данного элемента аккумулируется в листьях (хвое): 30% от общей массы азота в ельнике черничном влажном, 34.5% в ельнике долгомошно сфагновом, затем по мере уменьшения его содержания следуют стволы – 28.1 и 23.0%, корни – 20.4 и 20.6, кора – 10.5 и 12.0, ветви – 10.9 и 10.0% соответственно (табл. 3). Следует отметить, что в спелых среднетаежных ельниках, развитых на подзолистых почвах, количество азота, аккумулируемого в древостоях, составляет 700–830 кг га⁻¹ [4, 13, 18], что в 1.2–1.4 раза больше, чем в исследуемых нами ельниках на болотно-подзолистых почвах.

На вырубке ельника черничного влажного в несрубленных деревьях (недоруб, семенники) содержание азота равно 96 кг га⁻¹, в порубочных остатках вершин и обломков деревьев – 16 кг га⁻¹, а на вырубке долгомошно-сфагнового ельника – 149 и 18 кг га⁻¹ соответственно (табл. 5). Анализ показывает, что при сплошнолесосечной рубке древостоя ельника черничного влажного вынос азота равен 144, а ельника долгомошно-сфагнового – 140 кг га⁻¹, что составляет 28.3 и 24.2% от общего содержания азота в древесных растениях насаждений соответственно (рис. 2).

Из табл. 3 видно, что в древостоях естественно развивающегося спелого ельника черничного влажного общее количество зольных элементов составляет 900 кг га⁻¹, из них на долю ели приходится 700, березы – 177, сосны – 23 кг га⁻¹. Ряд распределения содержания зольных элементов в древесных растениях данного ельника следующий: Ca>K>Si>P>Mn>Mg>Al>Fe>Na>Cl. В долгомошно-сфагновом ельнике суммарное количество зольных элементов, накопленное в древостое, равно 970 кг га⁻¹, в том числе у ели – 757, у березы – 173, у сосны – 40 кг га⁻¹. Распределение зольных элементов в фитомассе древесных растений такое же, что и в ельнике черничном влажном. Однако следует отметить, что количество зольных элементов в органической массе древостоев среднетаежных ельников на полугидроморфных почвах в 1.2–1.5 раза меньше, чем на автоморфных почвах. Так, по данным [4, 13, 18], сумма зольных элементов в спелых древостоях среднетаежных ельников зеленомошной группы типов на подзолистых почвах составляет 1.1–1.5 т га⁻¹.

Количество зольных элементов в древесных растениях на вырубке ельника черничного влажного составляет 164, а ельника долгомошно-сфагнового – 228 кг га⁻¹. На долю ели приходится 116 и 135, березы – 45 и 83, сосны – 4 и 11, обломков

Таблица 4. Количество деревьев и запас древесины на вырубках ельников

Тип леса	Порода	Недоруб, семенники		Сухостой		Подрост экз. га ⁻¹
		число деревь-ев, экз. га ⁻¹	запас древе-сины, м ³	число деревь-ев, экз. га ⁻¹	запас древе-сины, м ³	
Черничный влажный	Ель	295	24	20	0.4	965
	Сосна	5	3	–	–	–
	Береза	100	15	10	0.7	75
	ИТОГО	400	42	30	1.1	1040
Долгомошно-сфагновый	Ель	456	26	181	15	1587
	Сосна	19	1	6	1	–
	Береза	113	10	25	3	74
	ИТОГО	588	38	212	19	1661

и вершин деревьев 26 и 34 кг га⁻¹ соответственно (табл. 5). Ряд распределения содержания зольных элементов в древесных растениях на вырубке такой же, что и в ельниках до рубки.

Анализ динамики содержания зольных элементов в древесных растениях ельников до и после сплошнолесосечных рубок (рис. 3) показал, что из ельника черничного влажного в процессе заготовки древесины вывозится 207 кг га⁻¹ зольных

элементов, в том числе кальция 104, калия 40, кремния 18, марганца 11, фосфора 12, магния 15, алюминия 2, железа 2, натрия 1 и хлора 2 кг га⁻¹. В долгомошно-сфагновом ельнике в процессе сплошнолесосечной рубки вынос зольных элементов составил 215 кг га⁻¹, из них кальция 107, калия 39, кремния 15, магния 16, фосфора 14, марганца 12, алюминия 5, железа 2, хлора 3 и натрия 1 кг га⁻¹. Следовательно, при сплошнолесосечной

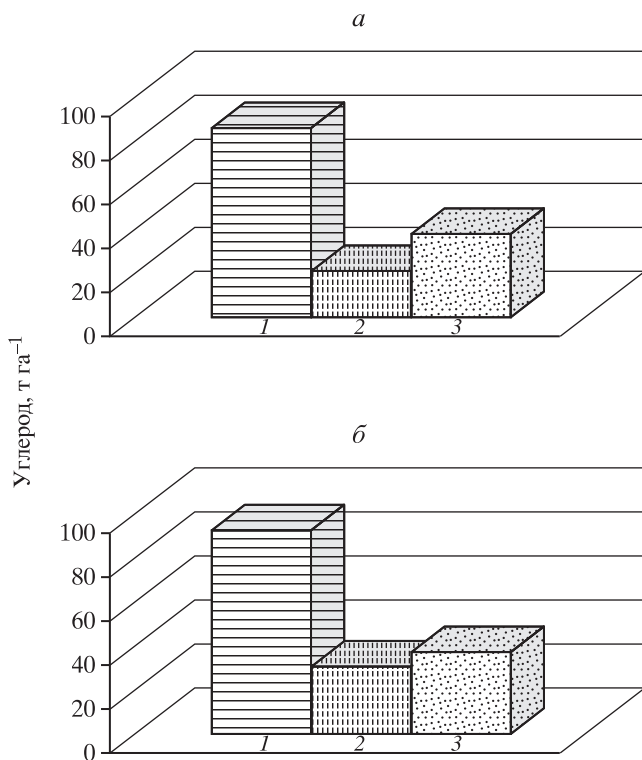


Рис. 1. Содержание углерода в фитомассе ельников черничного влажного (а) и долгомошно-сфагнового (б): 1 – древостоя, 2 – на вырубке, 3 – в вывезенной древесине

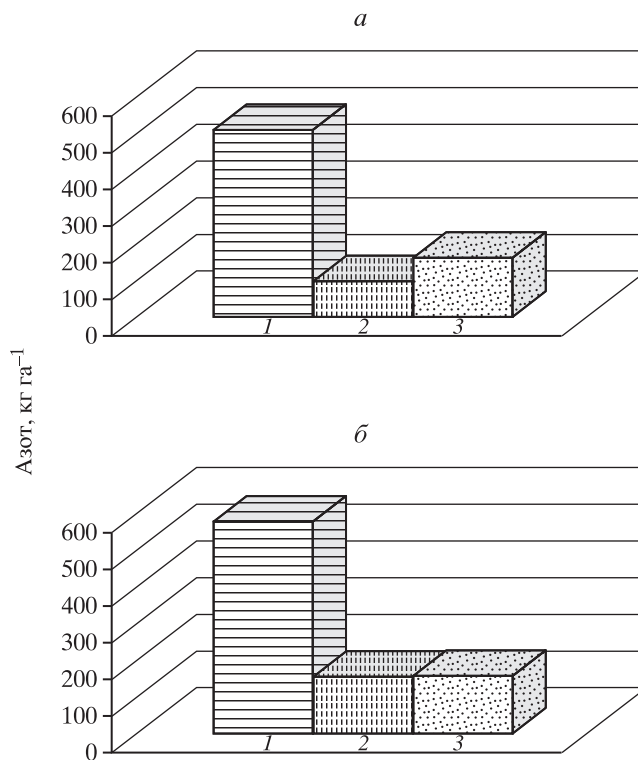


Рис. 2. Содержание азота в фитомассе ельников черничного влажного (а), долгомошно-сфагнового (б): 1 – древостоя, 2 – на вырубке, 3 – в вывезенной древесине

Таблица 5 (окончание)

Тип ельника	Компоненты	Фито-масса	С	N	Зольные элементы								Всего		
					Ca	K	Si	Mg	P	Mn	Al	Fe		Na	Cl
	кора стволовая	1 070	530	5.35	3.97	2.03	0.19	0.81	0.48	0.39	0.26	0.03	0.06	0.06	8.29
	ветви живые	2 080	1 020	6.86	11.23	2.50	1.27	2.18	2.23	0.69	0.60	0.27	0.25	0.17	21.38
	ветви сухие	350	170	1.16	1.89	0.42	0.21	0.37	0.37	0.12	0.10	0.05	0.04	0.01	3.58
	хвоя	2 660	1 230	33.52	23.25	14.28	7.18	3.67	4.79	2.34	0.80	0.19	0.21	0.08	56.79
	корни	4 320	2 090	8.21	5.66	5.18	1.12	0.48	0.39	0.17	0.30	0.26	0.04	0.26	13.87
	сухостой*	3 570	1 729	5.17	4.92	2.05	0.50	0.42	0.62	0.20	0.17	0.16	0.04	0.21	9.28
	Всего	26 990	12 919	77.08	69.03	31.26	11.77	9.48	11.46	4.67	2.75	1.47	0.78	1.57	144.25
	Сосна:														
	древесина стволовая	2 710	1 300	1.36	1.36	0.70	0.27	0.33	0.05	0.49	0.05	0.01	0.05	0.03	3.34
	кора стволовая	170	80	0.71	0.64	0.22	0.02	0.11	0.06	0.04	0.07	0.01	0.01	0.003	1.18
	ветви живые	380	170	0.95	0.70	0.38	0.23	0.17	0.06	0.03	0.04	0.004	0.01	0.004	1.63
	ветви сухие	10	10	0.03	0.02	0.01	0.01	0.005	0.002	0.001	0.001	0.0001	0.0003	0.0001	0.04
	хвоя	150	70	1.80	0.40	0.64	0.09	0.12	0.15	0.12	0.04	0.01	0.01	0.01	1.59
	корни	780	390	0.31	0.87	1.01	0.05	0.31	0.16	0.13	0.08	0.02	0.05	0.02	2.70
	сухостой*	250	117	0.12	0.16	0.13	0.02	0.05	0.02	0.04	0.01	0.002	0.01	0.003	0.44
	Всего	4 450	2 137	5.27	4.14	3.09	0.69	1.09	0.51	0.85	0.29	0.05	0.14	0.07	10.93
	Береза:														
	древесина стволовая	8 240	3 870	13.18	4.70	2.31	4.12	1.24	0.49	2.06	0.16	0.25	0.08	0.08	15.49
	кора стволовая	1 450	730	6.09	1.89	0.44	0.29	0.29	0.29	0.28	0.15	0.03	0.03	0.03	3.70
	ветви живые	920	420	3.13	2.70	1.17	0.21	0.59	0.44	0.17	0.10	0.04	0.02	0.05	5.48
	ветви сухие	50	30	0.17	0.15	0.06	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.002	0.001	0.003	0.30
	листья	500	230	11.50	3.23	3.67	0.32	1.41	0.98	0.39	0.07	0.03	0.03	0.02	10.13
	корни	6 350	3 100	37.47	11.87	12.26	2.10	4.13	3.94	1.27	5.21	6.60	0.19	0.13	47.69
	сухостой*	430	207	1.12	0.38	0.29	0.20	0.11	0.08	0.10	0.09	0.11	0.01	0.01	1.37
	Всего	17 940	8 587	72.66	24.90	20.18	7.25	7.80	6.25	4.28	5.78	7.06	0.35	0.31	84.16
	Обломки и верхинки	14 160	6 760	18.41	19.82	5.24	1.42	1.70	2.83	0.85	0.57	0.57	0.14	0.85	33.98
	ИТОГО	63 540	30 403	173.42	117.90	59.77	21.13	20.07	21.06	10.65	9.39	9.15	1.41	2.79	273.32

* Включает ствол, ветви, корни.

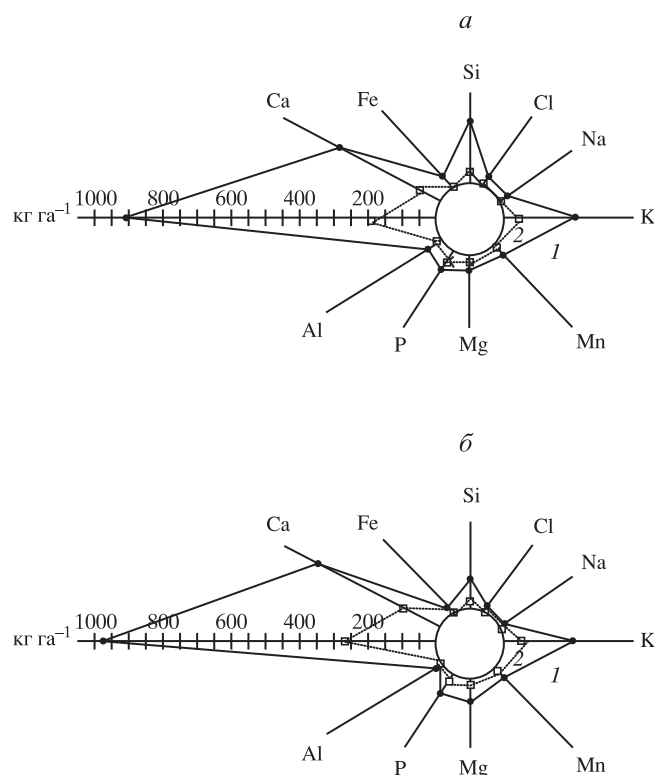


Рис. 3. Содержание зольных элементов в древесных растениях древостоев (1) и на вырубках (2) ельников черничного влажного (а) и долгомошно-сфагнового (б)

рубке при хлыстовой трелевке с предварительной обработкой крон на лесосеке вывозится в ельнике черничном влажном 22.9%, а в ельнике долгомошно-сфагновом – 22% запасов зольных элементов, накопленных в древостоях.

Заключение. В условиях средней тайги в древесных растениях старовозрастных ельников на торфянисто-подзолисто-глееватых почвах накапливается 180–194 т га⁻¹ фитомассы или 86–92 т С га⁻¹. В древостоях концентрируется 508–580 кг га⁻¹ азота и 904–974 кг га⁻¹ зольных элементов. Ряд распределения элементов минерального питания следующий: N > Ca > K > Si > P > Mn > Mg > Al > Fe > Na > Cl.

В процессе зимних сплошнолесосечных рубок при хлыстовой трелевке с предварительной обработкой крон на лесосеке вывозится 40–44% углерода, 24–28% азота, 22–23% зольных элементов от их массы, накопленной в фитомассе древостоев. В то же время за счет оставленных корней древесных растений будет постепенно вовлечено в биологический круговорот 18–20 т С га⁻¹, 104–120 кг га⁻¹ азота, 184–239 кг га⁻¹ зольных элементов. С порубочными остатками в почву допол-

нительно поступит в пересчете на 1 га 37.7 т органического углерода, 285 кг азота, 558 кг зольных элементов в ельнике черничном влажном и 41, 309 и 565 соответственно в ельнике долгомошно-сфагновом. Большая часть зольных элементов приходится на кальций, калий, кремний и фосфор. Таким образом, рубка леса – это не только отчуждение элементов питания из леса, но и вовлечение их в биологический круговорот последующим поколением возобновляющихся древесных растений. Следует также учесть, что при рубках в экосистеме остаются органический углерод и элементы минерального питания, накопленные в растениях напочвенного покрова, в валеже, в подстилке и в почве, которые трансформируются в результате изменения после рубки экологических условий и будут вовлечены в обмен веществ древесными растениями в процессе их восстановления на вырубках, что послужит целью дальнейших наших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобкова К.С. Биологическая продуктивность лесов // Леса Республики Коми. М.: Издательско-производственный центр “Дизайн. Информация. Картография”, 1999. С. 40–54.
2. Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология. 2001. № 1. С. 69–71.
3. Зябченко С.С. Сосновые леса Европейского Севера. Л.: Наука, 1984. 244 с.
4. Казимиров Н.И., Морозова Р.М. Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. Л.: Наука, 1973. 175 с.
5. Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми. М.: Издательско-производственный центр “Дизайн. Информация. Картография”, 2000. 512 с.
6. Лесотаксационный справочник для Северо-Востока европейской части СССР. Архангельск: Сев-Зап. кн. изд-во, 1986. 357 с.
7. Лукина Н.В., Никонов В.В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения: В 2-х ч. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 1996. Ч. 1. 213 с. Ч. 2. 192 с.
8. Манаков К.Н., Никонов В.В. Биологический круговорот минеральных элементов и почвообразование в ельниках Крайнего Севера. Л.: Наука, 1981. 153 с.
9. Мелехов И.С. Лесоводство. М.: Агропромиздат, 1989. 302 с.
10. Морозова Р.М., Лазарева И.П. Лесорастительные свойства почв сосновых лесов // Плодородие почв сосновых лесов Карелии. Петрозаводск: Изд-во Карельского фил. АН СССР, 1979. С. 5–48.

11. *Никишов В.Д.* Комплексное использование древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1985. 264 с.
12. ОСТ 56–69–83. Пробные площади лесостроительные. Метод закладки. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1983. 60 с.
13. *Париевников А.Л.* Круговорот азота и зольных элементов в связи со сменой пород в лесах средней тайги. Л.: Наука, 1962. 52 с. (Тр. Инст. леса и древесины СО АН СССР).
14. *Паутов Ю.А.* Техногенная структура вырубок – основа технологии лесовосстановления. Сыктывкар: Коми НЦ УрО АН СССР, 1992. 20 с. (Тр. Коми филиала АН СССР; № 98).
15. *Побединский А.В.* Изучение лесовосстановительных процессов. (Методические указания). Красноярск: Красноярское кн. изд-во, 1962. 60 с.
16. *Поповцева А.А.* Методическое руководство по ускоренному анализу золы растений, Сыктывкар: Коми НЦ УрО АН СССР, 1974. 83 с.
17. Правила рубок главного пользования в равнинных лесах европейской части Российской Федерации. М.: 1994. 32 с.
18. Продуктивность и круговорот элементов в фитоценозах Севера. Л.: Наука, 1975. 130 с.
19. *Ремезов Н.П., Быкова А.Н., Смирнова К.М.* Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах европейской части СССР. М.: Изд-во МГУ, 1959. 283 с.
20. *Родин Л.Е., Базилевич Н.И.* Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. М.; Л.: Наука, 1965. 251 с.
21. Руководство по технологии и организации лесосечных работ при сплошных и не сплошных рубках. Сыктывкар: ООО НПФ “Ниокр”, 2002. 48 с.
22. *Семенова В.Г.* Влияние рубок главного пользования на почвы и круговорот веществ в лесу. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 184 с.
23. *Тихонов А.С., Зябченко С.С.* Теория и практика рубок леса. Петрозаводск: Карелия, 1990. 224 с.
24. *Усольцев В.А.* Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 569 с.
25. *Уткин А.И.* Биологическая продуктивность лесов (методы изучения и результаты) // Лесоведение и лесоводство. “Итоги науки и техники”. М.: ВИНТИ, 1975. С. 9–189.
26. *Черепанов С.К.* Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Наука, 1995. 1990.
27. *Чертовской В.Г.* Еловые леса европейской части СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 176 с.
28. *Шенников А.П.* Введение в геоботанику. Л.: Изд-во ЛГУ, 1964. 447 с.

Losses of Carbon and Mineral Nutrients in Clear Cuttings of Spruce Forests in the Middle Taiga

K. S. Bobkova, N. V. Likhanova

The accumulation of carbon and mineral nutrients in the phytomass of the middle taiga old-growth spruce forests on the peaty-podzolic-gleyic soils is assessed. In the course of winter clear cutting and tree-length operations with treatment of crowns, from a cut area of 1 ha in the blueberry spruce forest, 37.82 t C and 351 kg of mineral nutrients are removed; in the haircap-moss-sphagnum spruce forest, 36.49 t and 355 kg, respectively. Under the conditions considered, more than half of the chemical element reserves of the stands is left in the felled area.

Russian North, middle taiga, spruce forest, phytomass, clear cutting, carbon, nitrogen, mineral elements.