

1. ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*114.351

**С.В. Тихонов, В.В. Горшков, Е.А. Капица, Ю.В. Хомяков,
В.Е. Вертебный, Е.В. Шорохова**

ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ДРЕВЕСНОГО ОПАДА И СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕРОДА В НЕМ В ЕЛЬНИКАХ ПРИРОДНОГО ПАРКА «ВЕПСКИЙ ЛЕС»

Введение. Опад является одним из ведущих факторов, определяющих структуру почвы в лесных экосистемах. Количество и фракционный состав опада определяют мощность лесной подстилки, водный, воздушный и тепловой режимы почвы, аккумуляцию органического углерода, физико-химические, химические и биологические свойства почвы [Hui et al., 2017]. Масса и структурное разнообразие опада влияют на состав и обилие зоомикробного сообщества деструкторов и комплекса почвенных беспозвоночных. Последние, за счет своей деятельности, формируют в почве порозные пространства, снижающие ее плотность, тем самым предотвращая ее деградацию при уплотнении [Аничкин, 2018].

Интенсивность поступления и структурное разнообразие опада, а, следовательно, и пул углерода лесной подстилки определяются климатическими факторами, лесорастительными условиями и структурой древостоя [Иванова, 2021; Managing..., 2012]. На уровне фитоценоза количество опада и его состав зависят от состава, строения и возраста древостоя, а также условий местопроизрастания. В таежных лесах количество опада варьирует от 0,9 до 3,9 т га⁻¹ год⁻¹ [Казимиров и др., 1977; Редько, 1984; Никонов, 1986]. На зимне-весенний период приходится 52–58%, на летний – 20–23, на осенний – 22–25% от общей массы опада, поступившего на поверхность подстилки (в ельниках средней подзоны тайги) [Лиханова, 2014]. Несмотря на значительное количество исследований, мало изучены факторы, влияющие на пространственную вариабельность поступления опада на поверхность почвы, а также его объем и состав [Казимиров и др., 1977; Редько, 1984; Никонов, 1986; Лиханова, 2014; Иванов и др., 2018;

Лукина и др., 2018; Иванова, Исаева, 2019; Иванова, 2021; Кузнецова, 2021; Бобкова, Кузнецов, 2022].

Целью данной работы является оценка фракционного состава опада и содержания углерода в нем в чернично-сфагновых и черничных коренных и производных (вторичных) ельниках резервата «Вепсский лес» Ленинградской области. В задачи входила сравнительная оценка: 1) годовичного поступления массы различных фракций древесного опада и связанного с ним углерода; 2) влияния лесорастительных условий, стадии сукцессионного развития и запаса древостоя на массу и содержание углерода и структуру древесного опада.

Объекты и методы. Исследования проведены в резервате «Вепсский лес» одноименного природного парка, расположенного в восточной части Ленинградской области, на границе с Вологодской областью (Курбинское участковое лесничество Подпорожского лесничества) (рис. 1). На территории резервата преобладают дренированные и недостаточно дренированные моренные суглинки на двучленных наносах, заболоченные торфяные и болотно-торфяные почвы [Федорчук и др., 1998; Беляева, 2019]. Лесной массив находится на возвышенности: высота над уровнем моря составляет 220–260 м. Среднегодовая температура за период наблюдений с 1990 г. по настоящее время составляет +4,0 °C (по данным метеостанции в п. Ефимовский Ленинградской области) (рис. 2). Следует отметить статистически достоверное увеличение температуры в заданном районе за последние 30 лет на 1,4 °C (рис. 2). Самый холодный месяц года – январь (–8,2 °C), самый теплый – июль (+17,5 °C). Количество осадков за период 75-летних наблюдений на метеостанции в п. Ефимовское остается величиной относительно постоянной. Наибольшее количество осадков приходится на август, наименьшее на февраль (рис. 3). Толщина снежного покрова в среднем равна 60 см, длительность его сохранения приблизительно 110–120 дней [Научно-прикладной..., 1988]. Лесной массив представлен, главным образом, ельниками, возраст которых составляет 200–300 лет, в отдельных случаях 350–400 лет [Федорчук и др., 1998].

Для исследования динамических процессов в коренных и производных лесах в 1973–93 гг. сотрудниками Ленинградского НИИ лесного хозяйства под руководством и при непосредственном участии С.А. Дыренкова и В.Н. Федорчука в резервате «Вепсский лес» была заложена обширная серия пробных площадей (далее – ПП) на территории

лесов с давностью последнего пожара 200 и более лет и на вырубках 1973-74 гг. [Федорчук и др., 1998] (табл. 1). ПП, расположенные в древостоях коренных лесов, идентичны по лесорастительным условиям парным древостоям в нарушенных сообществах (до сплошной рубки, по материалам лесоустройства 1973 г.). В понимании авторов коренные леса – это варианты естественных состояний лесного покрова без антропогенного нарушения.

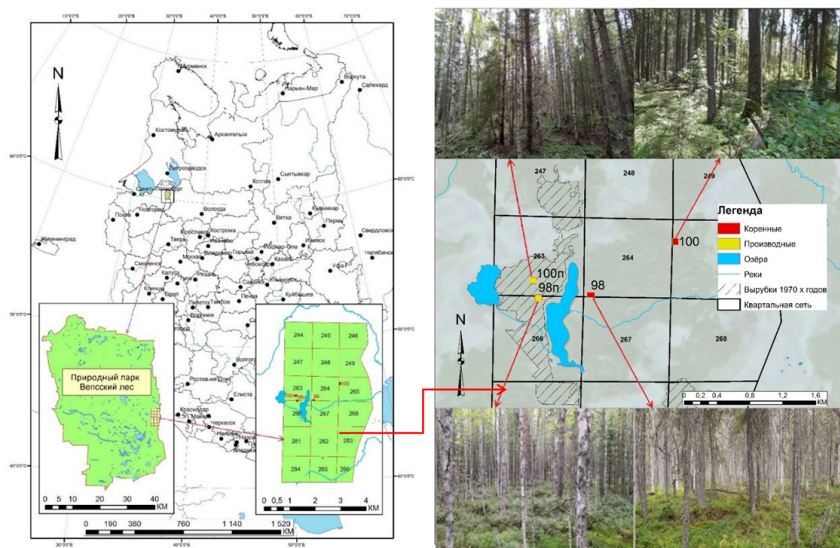
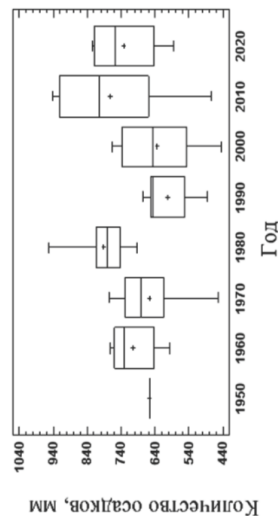


Рис. 1. Расположение пробных площадей

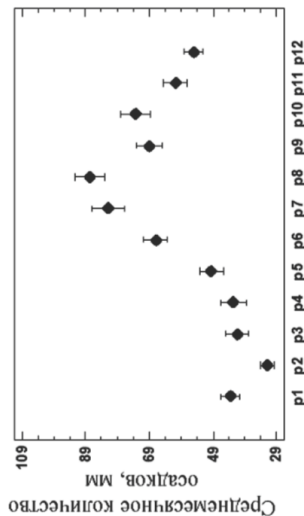
Fig. 1. Location of sample plots

ПП закладывали, руководствуясь отраслевым стандартом «Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки». Размер ПП определяли по наличию на ней не менее 200-250 деревьев основного элемента леса (с диаметром более 6 см) [Дыренков, 1984; Федорчук и др., 1998]. Характеристики древостоя оценивали методом сплошного перечета. Для всех деревьев учетного размера (более 6 см на высоте 1,3 м) определяли породу и длину окружности (с последующим переводом в диаметр). Запас древесины определяли по объемным таблицам (по ступеням толщины и разрядам высот) [Третьяков и др., 1952]. Состав древостоя представлен в долях от запаса (табл. 1).



Method: 99,0 percent LSD

Период	Число лет измерений	Среднее за период годовое количество осадков	Гомогенные группы
1960–1960	1	655,0	x x x x
1961–1970	9	705,8	x x x x
1971–1980	10	657,0	x x
1991–2000	5	602,0	x
2001–2010	8	634,4	x
2011–2020	10	773,7	x
2021–2024	4	731,5	x x



Месяц	Число лет измерений	Среднемесячное количество осадков, мм	Гомогенные группы
Февраль (p2)	56	31,98	x
Март (p3)	58	41,16	x x
Апрель (p4)	59	42,59	x x
Январь (p1)	55	43,53	x x
Май (p5)	59	49,41	x x
Декабрь (p12)	55	55,04	x x x
Ноябрь (p11)	55	60,87	x x x
Июнь (p6)	57	66,98	x x
Сентябрь (p9)	55	68,98	x x x
Октябрь (p10)	56	73,34	x x
Июль (p7)	56	81,88	x x
Август (p8)	56	87,64	x

Рис. 3. Результаты статистического анализа данных по количеству осадков в регионе исследования по данным метеостанции в п. Ефимовский за период с 1960 по 2024 гг.

Fig. 3. Results of statistical analysis of precipitation data in the study region according to the data of the weather station in Efimovskiy settlement for the period from 1960 to 2024

Таблица 1

Характеристика постоянных пробных площадей

Characteristic of permanent sample plots

ПП	Год закладки	Площадь ПП, га	Серия типов леса**	Вариант возрастной структуры древостоя*	Состав древостоя (2019 год учета)	Таксационный возраст основного поколения ели	Сумма площадей сечения (2019 год учета), м ² га ⁻¹	Запас (2019 год учета), м ³ га ⁻¹
100	1973	0,78	ЧЕРГ	Уо	4ЕЗОс2С1Б	200–300**	35,2	460,2
100П	1979	0,87	ЧЕРГ	Уо	4БЗЕЗОс+С	50	41,7	354,6
98	1973	0,46	СФЧ	Ар	9Е1Б+С	200–300**	29,0	235,6
98П	1979	0,39	СФЧ	Уо	5БЗС2Е	50	33,5	248,2

Примечание: серии типов леса: ЧЕРГ – черничная на дренированных суглинках и двучленных наносах; СФЧ – чернично-сфагновая на слабодренированных лесных землях или переходных торфах. П – пробные площади на вырубках 1971–1975 гг. Е – ель (*Picea abies* (L.) Н. Karst), Б – береза (*Betula pendula* Roth, *B. pubescens* Ehrh.), Ос – осина (*Populus tremula* L.), С – сосна (*Pinus sylvestris* L.). *Вариант возрастной структуры древостоя: Ар – абсолютно разновозрастные древостои; Уо – условно одновозрастные древостои [Дыренков, 1984]. **Согласно данным Федорчука и др. [1998].

Изучение опада проводили согласно методическим рекомендациям ICP Forests [Pitman et al., 2010]. Для оценки массы и фракционного состава опада в 2022 г. на каждой из четырех ПП было установлено по 12 опадоуловителей равноудаленно друг от друга (10–25 м). Опадоуловители представляли собой водонепроницаемые мешки из геоткани на проволоочной раме. Площадь улавливания каждого опадоуловителя составляла 0,3 м². Для предотвращения выдувания опада ветром глубина мешков составляла 0,4–0,5 м. Для вентиляции (проветривания) и исключения нахождения опада в переувлажненном состоянии соблюдали расстояние между дном мешка и поверхностью почвы в 0,5–0,7 м.

В лаборатории для каждой древесной породы опад разбирали на отдельные фракции: хвою, листья, генеративные органы (семена, пыльники, шишки, сережки), элементы кроны (ветви, кора, фрагменты древесины, чешуйки почек), а также лишайники и неопределенный остаток. Опад каждой фракции высушивали до воздушно-сухого

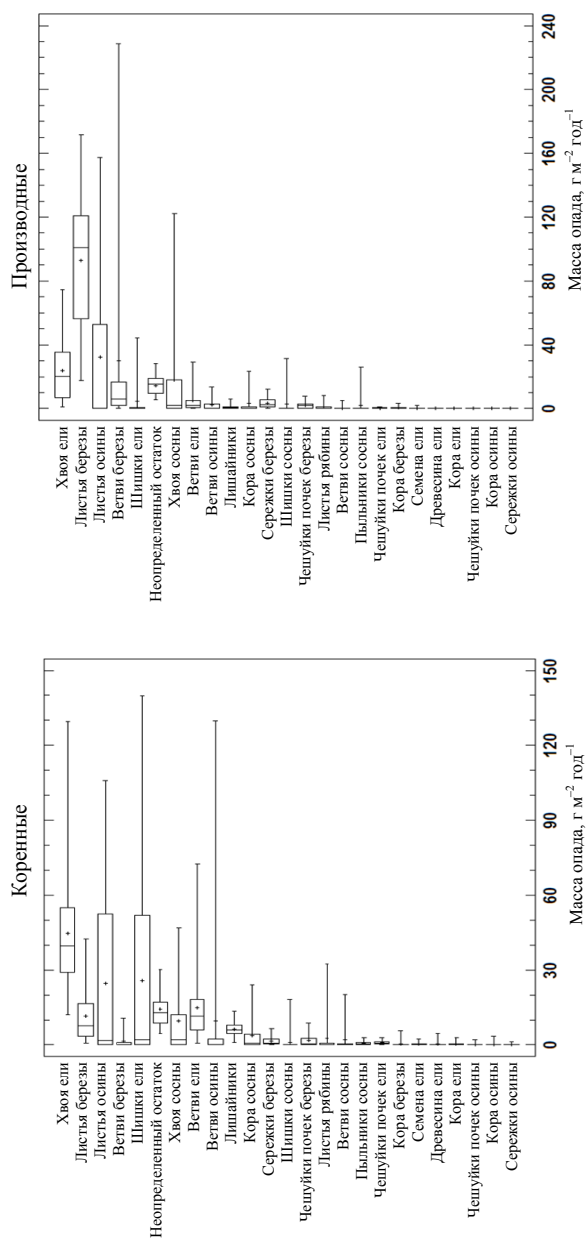
состояния и взвешивали с точностью до 0,01 г. Воздушно-сухие образцы фракций опада измельчали и определяли в них содержание углерода методом сухого сжигания на ТОС-анализаторе фирмы SHIMADZU. В оставшейся части образца определяли гигроскопическую влажность. Содержание углерода в опаде пересчитывали на абсолютно сухое вещество.

При статистической обработке использовали множественный дисперсионный анализ (Least Significant Difference (LSD)), регрессионный анализ и сравнение выборок непараметрическими методами (критерий Краскела-Уоллиса). Различия рассматривали как достоверные при уровне значимости $\alpha < 0,01$.

Результаты исследования. Общее поступление опада в изученных коренных лесных сообществах в среднем составило 180 г м^{-2} (145 и 215 г м^{-2} на ПП 98 и ПП 100 соответственно) и 241 г м^{-2} – во вторичных (218 и 264 г м^{-2} на ПП 98П и ПП 100П соответственно). Наблюдаемое различие обусловлено разницей в суммах площадей сечений, последовательно возрастающих при повышении плодородия почвы от ПП 98 ($29 \text{ м}^2 \text{ га}^{-1}$) – чернично-сфагновый тип леса – к ПП 100П ($42 \text{ м}^2 \text{ га}^{-1}$) – черничный тип леса (табл. 1).

Для коренных лесов идентифицированные в лабораторных условиях фракции делятся на 5 различающихся по массе групп (рис. 4): 1) хвоя ели, масса которой составляет $44,8 \text{ г м}^{-2}$ (25% от общей массы опада); 2) шишки ели и листья осины – $25,7$ и $24,6 \text{ г м}^{-2}$ соответственно (суммарно 28%); 3) фракции, масса которых варьирует от 6 до 15 г м^{-2} : ветви ели и осины, листья березы, хвоя сосны, неопределенный остаток, лишайники (суммарно 37%). Оставшиеся 2 группы, масса фракций которых составляет $1,5\text{--}4 \text{ г м}^{-2}$ и $0,1\text{--}1 \text{ г м}^{-2}$, характеризуются незначительным вкладом в общую массу опада – 7,6% и 2,5% соответственно.

Во вторичных лесах фракции опада делятся на 4 группы: 1) листья березы – 93 г м^{-2} (39%); 2) фракции, масса которых варьирует от 18 до 32 г м^{-2} и в сумме составляет 104 г м^{-2} (43%): листья осины, ветви березы, хвоя ели и сосны; 3) неопределенный остаток, ветви и шишки ели, сержки березы и ветви и шишки сосны (варьирование массы – $3,1\text{--}14 \text{ г м}^{-2}$, в сумме – 35 г м^{-2} , вклад – 14%); 4) фракции фрагментов древесины, коры и чешуек почек разных видов, пыльники сосны, семена хвойных (варьирование – $<0,01\text{--}2,4 \text{ г м}^{-2}$, суммарная масса – 10 г м^{-2} , вклад – 4%) (рис. 4).



Multiple Range Tests. Method: 99.0 percent LSD

Фракция	Кол-во изме- рений	Средняя масса опада в коренных лесах, г м ⁻²	% от общей массы опада	Гомоген- ные группы
Хвоя ели	24	44,75	24,89	X
Шишки ели	24	25,68	14,29	X
Листья осины	24	24,55	13,66	X X
Ветви ели	24	14,93	8,31	X X
Неопределенный остаток	24	14,25	7,93	X
Листья березы	24	11,62	6,46	X X
Ветви осины	24	9,72	5,41	X X X
Хвоя осины	24	9,70	5,40	X X X
Лишайники	24	6,32	3,51	X X X
Кора осины	24	3,78	2,10	X X
Листья рябины	24	2,68	1,49	X X
Ветви сосны	24	2,15	1,20	X X
Чешуйки почеч березы	24	1,88	1,05	X X
Ветви березы	24	1,60	0,89	X X
Сережки березы	24	1,57	0,87	X X
Шишки сосны	24	1,04	0,58	X
Чешуйки почеч ели	24	0,98	0,55	X
Пыльнички сосны	24	0,68	0,38	X
Древесина ели	24	0,41	0,23	X
Семена ели	24	0,40	0,22	X
Кора березы	24	0,33	0,19	X
Кора ели	24	0,33	0,18	X
Чешуйки почеч осины	24	0,18	0,10	X
Кора осины	24	0,15	0,08	X
Сережки осины	24	0,11	0,06	X

Multiple Range Tests. Method: 99.0 percent LSD

Фракция	Кол-во изме- рений	Средняя масса опада в производных лесах, г м ⁻²	% от общей массы опада	Гомоген- ные группы
Листья березы	24	92,83	38,45	X
Листья осины	24	32,30	13,38	X
Ветви березы	24	29,95	12,41	X
Хвоя ели	24	23,75	9,84	X X
Хвоя осины	24	18,07	7,48	X X X
Неопределенный остаток	24	14,45	5,98	X X X
Ветви ели	24	5,29	2,19	X X
Шишки ели	24	4,82	2,00	X X
Сережки березы	24	3,50	1,45	X X
Кора сосны	24	3,48	1,44	X X
Шишки осины	24	3,09	1,28	X X
Ветви осины	24	2,38	0,99	X
Чешуйки почеч березы	24	2,13	0,88	X
Пыльнички сосны	24	1,83	0,76	X
Листья рябины	24	1,14	0,47	X
Лишайники	24	1,05	0,43	X
Кора березы	24	0,43	0,18	X
Ветви сосны	24	0,37	0,15	X
Чешуйки почеч ели	24	0,37	0,15	X
Семена ели	24	0,20	0,08	X
Чешуйки почеч осины	24	0,01	<0,01	X
Кора ели	24	<0,01	<0,01	X
Древесина ели	24	<0,01	<0,01	X
Кора осины	24	<0,01	<0,01	X
Сережки осины	24	0		

Рис. 4. Средний фракционный состав древесного опада в коренных (ПП 100 и 98) (слева) и производных (ПП 100П и 98П) (справа) ельниках

Fig. 4. Fractional composition of tree litterfall in the old-growth (PP 100 and 98) (left) and secondary (PP100P and 98P) (right) spruce forests

Во всех изученных лесах основной фракцией опада являются ассимиляционные органы (хвоя или листья), доля которых составляет 52–70% (табл. 2). Лиственный опад преобладает во вторичных лесах ввиду большей доли лиственных пород в составе древесного яруса. Следующей, практически одинаково представленной фракцией как в нарушенных, так и в старовозрастных лесах является фракция, состоящая из фрагментов крон деревьев (коры, древесины, ветвей, чешуек почек древесных пород) – 18–20% от общей массы опада. Доля фрагментов крон хвойных и лиственных деревьев в коренных лесах составляет 13% и 8%, во вторичных – 4% и 14% соответственно. Фракции генеративных органов представлены преимущественно в коренных сообществах и состоят практически полностью из шишек ели, вклад которых в общий опад составляет 15% (рис. 4, табл. 2). Вклад фракции «неопределенный остаток» несколько увеличивается при переходе от вторичных к коренным лесам – с 6 до 8% соответственно. Присутствие «старых» деревьев в древесном ярусе коренных лесов, ветви и стволы которых являются длительно существующим субстратом для заселения и роста лишайников, увеличивает присутствие фракции лишайников в коренных лесах в 7 раз по сравнению со вторичными (табл. 2).

Таблица 2

**Среднее фракционное распределение опада (%) в коренных
и вторичных еловых лесах**

**Average fractional distribution of tree litterfall (%)
in the old-growth and secondary spruce forests**

Группы фракций опада	Коренные леса	Вторичные леса
Листья	21,61	52,30
Хвоя	30,29	17,32
Итого: ассимиляционные органы	51,90	69,62
Кора, древесина, ветви, чешуйки почек лиственных пород	7,71	14,45
Кора, древесина, ветви, чешуйки почек хвойных пород	12,56	3,94
Итого: фрагменты кроны	20,27	18,39
Генеративные органы лиственных пород	0,93	1,45
Генеративные органы хвойных пород	15,46	4,12
Итого: генеративные органы	16,39	5,57
Неопределенный остаток	7,93	5,98
Лишайники	3,51	0,43

Во всех изученных лесах коэффициент вариации фракций опада характеризуется существенным разбросом – от 26% до 346% (табл. 3).

Таблица 3

Вариабельность поступления опада в опадоуловители по пробным площадям; средние (минимальные; максимальные) значения массы опада, г м⁻² год⁻¹

Variability of litterfall among fall traps by sample plots; mean (minimum; maximum) values of annual litterfall mass, g m⁻² year⁻¹

Фракция	Кол-во изме-рений	Постоянная пробная площадь							
		100		100П		98		98П	
		Коэффициент вариации	Среднее (Min; Max)	Коэффициент вариации	Среднее (Min; Max)	Коэффициент вариации	Среднее (Min; Max)	Коэффициент вариации	Среднее (Min; Max)
Хвоя ели	12	43%	39 (12; 69)	85%	25 (1; 75)	64%	51 (19; 130)	102%	23 (1; 68)
Хвоя сосны	12	90%	18 (0,4; 47)	334%	0,1 (0; 1,4)	247%	1 (0; 8)	112%	36 (2; 122)
Листья березы	12	88%	5,8 (1,5; 18,9)	65%	86 (18; 172)	72%	17,5 (0,7; 42,4)	26%	99 (50; 138)
Листья осины	12	57%	49 (3,6; 106)	88%	65 (0; 158)				
Листья рябины	12	182%	5,4 (0; 32)	125%	2,3 (0; 8,1)				
Чешуйки почек ели	12	83%	1,0 (0,1; 3,0)	88%	0,3 (0; 0,9)	86%	0,9 (0,3; 3,0)	73%	0,4 (0,1; 1,0)
Чешуйки почек березы	12	93%	3,6 (0; 8,7)	76%	3,3 (0; 7,8)	116%	0,2 (0; 0,5)	108%	1,0 (0; 3,2)
Чешуйки почек осины	12	173%	0,4 (0; 2,1)	346%	0,02 (0; 0,24)				
Шишки ели	12	161%	21 (0; 99)	179%	9,2 (0; 44,3)	136%	30,4 (0,1; 139,9)	346%	0,5 (0; 5,4)
Шишки сосны	12	262%	2,1 (0; 18)					194%	6,2 (0; 31,3)
Пыльники сосны	12	102%	0,9 (0; 3,0)	236%	0,03 (0; 0,24)	135%	0,5 (0; 2,3)	211%	3,6 (0; 25,8)
Семена ели	12	123%	0,25 (0,03; 1,06)	163%	0,2 (0; 0,9)	111%	0,6 (0,2; 2,4)	251%	0,2 (0; 2,0)
Сережки березы	12	105%	1,1 (0,1; 3,2)	95%	4 (0; 12)	86%	2,1 (0,4; 6,6)	65%	3,0 (0,6; 6,5)
Сережки осины	12	204%	0,2 (0; 1,2)						
Ветви ели	12	63%	11 (0,8; 22)	167%	6 (0; 29)	98%	19 (3; 73)	110%	4,5 (0; 14,8)
Ветви сосны	12	212%	3,5 (0; 20)			246%	0,9 (0; 6,6)	236%	0,7 (0; 5,0)
Кора ели	12	346%	0,25 (0; 3)	346%	0,01 (0; 0,09)	178%	0,4 (0; 2,5)		
Кора сосны	12	104%	7,3 (0,2; 24)			170%	0,3 (0; 1,8)	133%	7,0 (0; 23,4)

Окончание табл. 3

Фракция	Кол-во измерений	Постоянная пробная площадь							
		100		100П		98		98П	
		Коэффициент вариации	Среднее (Min; Max)	Коэффициент вариации	Среднее (Min; Max)	Коэффициент вариации	Среднее (Min; Max)	Коэффициент вариации	Среднее (Min; Max)
Древесина ели	12	168%	0,8 (0; 4,7)	346%	0,01 (0; 0,07)				
Ветви березы	12	262%	1,2 (0; 11)	205%	39 (0; 229)	176%	2 (0; 10)	160%	21,3 (0; 112,3)
Ветви осины	12	207%	19 (0; 130)	104%	4,8 (0; 13,5)				
Кора березы	12	121%	0,2 (0; 0,7)	178%	0,6 (0; 3,3)	339%	0,5 (0; 5,8)	149%	0,3 (0; 1,3)
Кора осины	12	346%	0,3 (0; 3,6)	346%	0,003 (0; 0,04)				
Лишайники	12	37%	5,7 (1,6; 9,0)	132%	1,4 (0; 6,0)	58%	6,9 (1,0; 13,4)	147%	0,7 (0,1; 3,7)
Общий опад	12	32%	215 (70; 315)	31,5%	264 (198; 474)	54%	145 (41; 292)	25,8%	218 (130; 302)

Коэффициенты вариации по их величине можно разделить на 5 групп:

1. <50%. Эта категория коэффициентов вариации, по величине характеризующая нормальное или приближенное к нормальному распределению, отмечена для 3 фракций, в том числе 2 раза для значимых по вкладу в общий опад (табл. 4). Это лишайники (вклад 3%, ПП 100), хвоя ели (18%, там же) и листья березы (45%, ПП 98П). На трех из четырех обследованных ПП (100, 100П, 98П) таким коэффициентом вариации характеризуется распределение общей массы опада по опадоуловителям (табл. 3);

2. 50-99%. Данная категория представлена на всех ПП и отмечена для 20 фракций, в том числе для 9 (из 18) значимых (табл. 4). Эта категория характеризует фракции, представленные по всем опадоуловителям на ПП (с одним исключением). Среди наиболее значимых следует назвать листья осины (вклад 23%, ПП 100), листья березы и осины (33% и 24% соответственно, ПП 100П), хвою ели (35%, ПП 98). Таким коэффициентом вариации характеризуется распределение общей массы опада на ПП 98;

3. 100-199%. Самая распространенная категория, зарегистрирована для 32 фракций (из проанализированных 76), пять из которых значимы для суммарного опада на ПП. Фракции этой категории почти всегда (27 из 32 случаев) представлены не во всех опадоуловителях. К ним относятся: шишки ели (10% на ПП 100 и 21% на ПП 98), ветви березы (15%, ПП 100П), хвоя сосны и ели и ветви березы (17, 11 и 10% соответственно, ПП 98П);

4. 200–300%. Категория представлена 12 раз. Фракции опада с данным коэффициентом вариации встречаются не во всех опадоуловителях. Для

нее отмечены 2 значимые фракции – ветви осины (9%, ПП 100) и ветви березы (15%, ПП 100П). Они зарегистрированы практически во всех опадоуловителях, но при этом в 2 опадоуловителях характеризуются аномально большими значениями – 55 и 69 г м⁻² (ветви осины, ПП 100), 22 и 39 г м⁻² (ветви березы, ПП 100П);

5. >300%. Категория представлена 9 раз и характеризует случаи, когда фракция опада отмечена только в одном из 12 опадоуловителей на ПП. Значимых по вкладу в общий опад фракций в пределах этой группы нет.

Выполненный анализ показывает высокую вариабельность распределения фракций опада в зависимости от ПП. Основная часть значимых фракций опада (11 из 18) характеризуется относительно небольшими величинами коэффициентов вариации (<100%). Большинство фракций опада (53 из 76) характеризуются значительными и очень значительными коэффициентами вариации (>100%). Варьирование характеристик весьма индивидуально на ПП; вторичные и коренные леса не различаются.

Таблица 4

Число фракций опада в зависимости от категории коэффициента вариации, числа значимых связей и представленности фракций по опадоуловителям на исследованных пробных площадях

The number of tree litterfall fractions depending on the variation coefficient category, the number of significant relationships, and the share of tree litterfall fractions in the studied sample plots

№ категории	Величина коэффициента вариации	Пробная площадь				Всего фракций
		100	100П	98	98П	
1	<50%	2 (1) ¹ 0 ²	–	–	1 (1)0	3 (2)0
2	50–99%	6 (3)1	6 (3)0	6 (3)0	2 (–)0	20 (9)1
3	100–199%	9 (1)6	7 (–)7	7 (1)5	9 (3)5	32 (5)27
4	200–300%	5 (1)5	2 (1)2	2 (–)2	3 (–)3	12 (2)12
5	>300%	2 (–)2	5 (–)5	1 (–)1	1 (–)1	9 (0)9
	Всего фракций	24(6)14	20(4)18	16(4)8	16(4)9	76 (18)49

Примечание: ¹ В скобках приведено число значимых фракций с вкладом >5% от общей массы опада на пробной площади; ²Через бэкслэш указано число фракций, отмеченных не на всех опадоуловителях, в пределах ПП

Содержание углерода в различных фракциях опада (табл. 5, рис. 5) достоверно увеличивается от 45% (лишайники) до 54% (чешуйки почек березы). Среди самых значимых фракций (с наибольшим вкладом в массу опа-

да) наименьшее содержание углерода отмечено в листьях осины и рябины (47,21–47,69%), наибольшее – в листьях березы (48,35–49,65%), хвоя ели занимает промежуточное положение (47,78–48,92%). Достоверно большее (по сравнению с лишайниками и листьями осины и рябины) содержание углерода зарегистрировано для фрагментов кроны и генеративных органов березы (в среднем 50,7 и 51,1% соответственно) и хвои сосны (51,4%). Выраженных различий в содержании углерода в разных фракциях опада вторичных и коренных лесов не зарегистрировано.

Таблица 5

Масса опада и углерода в нем в зависимости от фракции в коренных и производных еловых лесах

The mass and carbon content of the tree litterfall by fractions in the old growth and secondary spruce forests

Фракция		Масса опада, т га ⁻¹ год ⁻¹				Содержание углерода, %				Масса углерода, тС га ⁻¹ год ⁻¹			
		100	100П	98	98П	100	100П	98	98П	100	100П	98	98П
Хвоя	Ель	0,39	0,25	0,51	0,23	48,15	47,78	48,92	48,63	0,19	0,12	0,25	0,11
	Сосна	0,18	<0,01	0,01	0,36	51,21	–	51,59	51,30	0,09	<0,01	0,01	0,18
Листья	Берёза	0,06	0,86	0,17	0,99	48,35	49,65	48,89	49,38	0,03	0,43	0,08	0,49
	Осина	0,49	0,64	–	–	47,52	47,69	–	–	0,23	0,31	–	–
	Рябина	0,05	0,02	–	–	47,21	–	–	–	0,02	–	–	–
Генера- тивные ор- ганы*	Шишки ели	0,21	0,09	0,30	<0,01	49,91	48,90	нд	нд	0,10	0,05	0,15	<0,01
	Семена ели	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	нд	51,59	50,09	50,20	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Сосна	0,03	<0,01	–	0,10	47,98	49,55	48,54	48,40	0,01	<0,01	–	0,05
	Берёза	0,01	0,04	0,02	0,03	49,26	52,65	50,91	51,60	<0,01	0,02	0,01	0,02
	Осина	<0,01	–	–	–	46,08	–	–	–	<0,01	–	–	–
Чешуйки почек	Ель	0,01	<0,01	0,01	<0,01	49,91	48,90	49,24	50,09	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	Берёза	0,04	0,03	–	0,01	53,78	53,97	54,04	54,26	0,02	0,02	–	0,01
	Осина	<0,01	<0,01	–	–	52,05	–	–	–	<0,01	<0,01	–	–
Ветви, кора, фрагменты древесины	Ель	0,12	0,06	0,20	0,05	50,14	49,57	49,88	50,70	0,06	0,03	0,10	0,03
	Сосна	0,11	–	0,01	0,08	48,84	–	47,63	50,62	0,05	–	<0,01	0,04
	Берёза	0,01	0,39	0,02	0,22	51,35	51,38	51,04	49,08	0,01	0,20	0,01	0,11
	Осина	0,20	0,05	–	–	46,48	47,74	–	–	0,09	0,02	–	–
Лишайники		0,06	0,01	0,07	0,01	44,91	48,83	45,40	41,63	0,03	<0,01	0,03	<0,01
Неопределенный остаток		0,17	0,18	0,11	0,11	48,61	52,87	48,60	51,32	0,08	0,10	0,05	0,06
Итого		2,14	2,62	1,44	2,20					1,02	1,30	0,69	1,10

Примечание: *генеративные органы – семена хвойных, пыльники сосны, шишки сосны и ели, березовые и осиновые сережки; нд – нет данных

Multiple Range Tests. Method: 99,0 percent LSD

Фракция	Количество из-менений	Среднее содержание, углерода, %	% от общей массы опада	Гомогенные группы
Лишайники	4	45,2	1,7	х
Осина и рябина, все фракции	3	47,5	1,4	х х
Хвоя ели	4	48,4	1,6	х х
Генеративные органы сосны	4	48,6	1,6	х х
Фракции сосны	3	49,0	2,3	х х х
Листья березы	4	49,1	2,4	х х х
Почки ели	2	49,4	7,2	х х х
Шлипки ели	4	49,5	0,3	х х х
Фракции ели	4	50,1	5,3	х х
Неопределенный остаток	4	50,4	6,8	х х
Семена ели	3	50,6	0,14	х х
Фракции березы	4	50,7	8,6	х х
Генеративные органы березы	4	51,1	1,2	х
Хвоя сосны	3	51,4	6,6	х
Почки березы	4	54,0	0,95	х

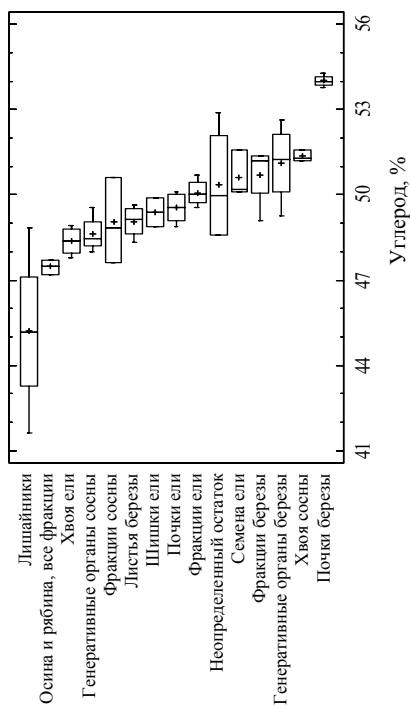


Рис. 5. Среднее содержание углерода в различных фракциях опада
Fig. 5. Average carbon content in various fractions of the tree litterfall

Основная часть значимых фракций опада (62% от массы опада) характеризуется содержанием углерода несколько менее 50% (47,5–49,5%). В меньшей части значимых фракций (27% от массы опада) содержание углерода равно или незначительно превышает 50% (50,1–51,4%).

Годовое поступление углерода с различными фракциями опада на поверхность почвы в изученных сообществах составляет в среднем 1,03 тС га⁻¹ год⁻¹ (табл. 5). Наименьшее поступление отмечено в коренном ельнике ПП 98 (0,69 тС га⁻¹ год⁻¹), наибольшее – во вторичном смешанном лесу ПП 100П (1,30 тС га⁻¹ год⁻¹). В изученных сообществах большим поступлением опада на поверхность почвы характеризуются вторичные леса, что, как ранее обсуждалось, обусловлено их большей суммой площадей сечений и, как следствие, площадью крон, и поверхностью ассимиляционных органов, отвечающих за продуктивность.

Полученные авторами результаты согласуются с данными других исследователей. Годовое поступление опада в северотаежных лесах находится в пределах от 0,9 до 2,5 т га⁻¹ год⁻¹ [Никонов, Лукина, 1994], в среднетаежных лесах – от 2,1 до 3,9 т га⁻¹ год⁻¹ [Казимиров и др., 1977; Редько, 1984]. По данным М.А. Кузнецова и К.С. Бобковой [2022], старовозрастной еловый древостой (возраст основного поколения 80-160 и 106-200 лет на ПП разнотравно-черничного и чернично-сфагнового типов леса) продуцирует опад в разнотравно-черничном фитоценозе 2,23 т га⁻¹ год⁻¹, а в чернично-сфагновом – 2,05 т га⁻¹ год⁻¹. Наши результаты показали большую вариабельность в зависимости от типа лесорастительных условий (2,14 т га⁻¹ год⁻¹ и 1,44 т га⁻¹ год⁻¹ для черничного и чернично-сфагнового типов лесорастительных условий соответственно), что, предположительно обусловлено менее значимой долей лиственных пород в составе древостоя на ПП.

Исследования годового поступления углерода в подстилку с опадом для ельников средней подзоны тайги показали близкие к полученным нами данным. Так, согласно результатам Н.И. Германовой [2009], в перестойном 130-летнем ельнике черничном в заповеднике «Кивач» опад привносит на поверхность почвы 0,820 тС га⁻¹ год⁻¹. В нашем исследовании в аналогичных лесорастительных условиях, но при большем участии лиственных пород в составе древостоя (ПП100) поступление составило 1,02 тС га⁻¹ год⁻¹. Для вторичных лесов средней подзоны тайги возрастом 40 и 60 лет (лиственно-еловые и еловые сообщества) ежегодный вклад опада в условиях Республики Коми составляет 1,213 и 1,245 тС га⁻¹ год⁻¹ [Дымов и др., 2012] соответственно, что очень близко к нашим результа-

там (1,100 и 1,300 тС га⁻¹ год⁻¹ для черничных и чернично-сфагновых типов лесорастительных условий).

Закключение. Основная масса годового опада представлена листьями и хвоей (50% в коренных лесах и 70% во вторичных). Фрагменты крон в опаде (по массе) в коренных и вторичных сообществах не различаются между собой (18–20%). Генеративных органов в коренных сообществах (16%) почти в три раза больше по сравнению со вторичными (6%). Практически все фракции опада характеризуются неравномерным распределением по территории лесных сообществ: для 52 из 76 фракций опада коэффициент вариации составил 50–200%.

В большинстве значимых фракций опада (62% от общей массы) содержание углерода составило менее 50% (47,5–49,5%). В меньшей части значимых фракций (27% от общей массы опада) содержание углерода равно или незначительно превышает 50% (50,1–51,4%). Среднее количество углерода, поступающего с опадом на поверхность почвы, составило 1,03 тС га⁻¹ год⁻¹ и варьировало для отдельных лесных сообществ от 0,69 до 1,30 тС га⁻¹ год⁻¹.

Вклад авторов. Все авторы внесли равный вклад в написание статьи.

Сведения о финансировании исследования. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах», в рамках государственного задания Агрофизического научно-исследовательского института FGEG-2025-0005 и в рамках государственного задания Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН «Растительность Европейской России и Северной Азии: разнообразие, динамика, типы местообитаний» № 126020616772-4.

Благодарности. Авторы выражают глубокую признательность одному из родоначальников исследований на территории «Вепсского леса» Виктору Николаевичу Федорчуку за идейное руководство и вдохновение, Сергею Владимировичу Тетюхину за геоинформационное сопровождение работ, а также всем коллегам, принимавшим участие в полевых работах.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Аничкин А.Е. Роль растительного опада и почвенной фауны в сохранении структуры тропических почв // Современные проблемы медицины и естественных наук: сб. ст. Всерос. науч. конф. Йошкар-Ола, 2018. Вып. 7. С. 473-477.

Беляева К.А. Ландшафтная приуроченность лесных сообществ юго-западной части Вепсовской возвышенности // Современные направления развития физической географии: научные и образовательные аспекты в целях устойчивого развития: матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского гос. ун-та и 65-летию Белорусского географического общества. Минск, 2019. С. 340-343.

Бобкова К.С., Кузнецов М.А. Бюджет углерода в экосистемах среднетаежных коренных ельников // Журнал общей биологии. 2022. Т. 83, № 6. С. 434–449. DOI: 10.31857/S0044459622060033.

Германова Н. И. Скорость разложения растительного опада в лесных насаждениях заповедника «Кивач» // Эколого-геохимические и биологические закономерности почвообразования в таежных лесных экосистемах. Петрозаводск, 2009. С. 68–87.

Дымов А.А., Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Ракина Д.А. Растительный опад в коренном ельнике и лиственно-хвойных насаждениях // ИВУЗ. Лесной журнал. 2012. № 3(327). С. 7–18.

Дыренков С.А. Структура и динамика таёжных ельников. Л.: Наука, 1984. 174 с.

Иванов А.В., Браун М., Замолодчиков Д.Г., Лынов Д.В., Панфилова Е.В. Лесные подстилки как звено цикла углерода хвойно-широколиственных насаждений южного Приморья // Почвоведение. 2018. № 10. С. 1226–1233. DOI: 10.1134/S0032180X18100052.

Иванова Е.А. Формирование и разложение древесного опада в лесных экосистемах в фоновых условиях и при аэротехногенном загрязнении // Вопросы лесной науки. 2021. Т. 4. №. 3. С. 1–52. DOI: 10.31509/2658-607x-202143-87.

Иванова Е.А., Исаева Л.Г. Динамика массы и состава древесного опада в сосняке Лапландского заповедника // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2019. № 16. С. 211–215. DOI: 10.31241/FNS.2019.16.043.

Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С., Иванчиков А.А., Морозова Р.М. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.

Кузнецова А.И. Влияние растительности на запасы почвенного углерода в лесах (обзор) // Вопросы лесной науки. 2021. Т. 4, №. 4. С. 41–95. DOI: 10.31509/2658-607x-2021-44-95.

Лиханова Н.В. Роль растительного опада в формировании лесной подстилки на вырубках ельников средней тайги // ИВУЗ. Лесной журнал. 2014. № 3. С. 52–66.

Лукина Н.В., Тихонова Е.В., Шевченко Н.Е., Горнов А.В., Кузнецова А.И., Гераскина А.П., Шанин В.Н. Аккумуляция углерода в лесных почвах и сукцессионный статус лесов. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2018. 232 с.

Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3: Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 3: Карельская АССР, Ленинградская, Новгородская, Псковская, Калининская и Смоленская области. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 692 с.

Никонов В.В. Запасы и состав подстилок вторичных сосняков на северном пределе произрастания // Почвоведение. 1986. № 6. С. 79–88.

Никонов В.В., Лукина Н.В. Биогеохимические функции лесов на северном пределе распространения. Апатиты: КНЦ РАН, 1994. 315 с.

Редько Г.И. Линдуловская лиственничная роща: учеб. пособие. Л.: ЛТА, 1984. 96 с.

Третьяков Н.В., Горский П.В., Самойлович Г.Г. Справочник таксатора. М., Л.: Гослесбумиздат, 1952. 853 с.

Федорчук В.Н., Кузнецова М.Л., Андреева А.А., Моисеев Д.В. Резерват «Вепский лес». Лесоводственные исследования. СПб.: Изд-во СПбНИИЛХ, 1998. 208 с.

Hui D., Deng Q., Tian H., Luo Y. Climate change and carbon sequestration in forest ecosystems // Handbook of climate change mitigation and adaptation. Cham, 2017. P. 555–594. DOI: 10.1007/978-3-319-14409-2_13.

Managing forest carbon in a changing climate. Springer Dordrecht, 2012. 424 p. DOI: 10.1007/978-94-007-2232-3.

Pitman R., Bastrup-Birk A., Breda N., Rautio P. Sampling and Analysis of Litterfall. // Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Hamburg, 2010. Ch. XIII. 16 p.

References

Anichkin A.E. The role of plant litter and soil fauna in the structure of tropical soils. *Modern problems of medicine and natural sciences*: collection of articles of the All-Russ. sci. conf. Yoshkar-Ola, 2018, iss. 7, pp. 473–477. (In Russ.)

Belyaeva K.A. Landscape distribution of forest communities of south-west part of Veps Upland. *Modern trends in the development of physical geography: scientific and educational aspects for sustainable development*: mat. of the int. sci.-pract. conf. dedic. to the 85th anniversary of the Faculty of Geography and Geoinformatics of the Belarusian State University and the 65th anniversary of the Belarusian Geographical Society. Minsk, 2019, pp. 340–343. (In Russ.)

Bobkova K.S., Kuznetsov M.A. Carbon budget in ecosystems of the middle boreal old-growth spruce forests. *Journal of General Biology*, 2022, vol. 83, no. 6, pp. 434–449. DOI: 10.31857/S0044459622060033. (In Russ.)

Dymov A.A., Bobkova K.S., Tuzhilina V.V., Rakina D.A. Plant litter in the old-growth spruce and deciduous-coniferous forest. *BHEI. Russian Forestry Journal*, 2012, no. 3(327), pp. 7–18. (In Russ.)

Dyrenkov S.A. The structure and dynamics of taiga spruce forests. Leningrad: Nauka, 1984. 174 p. (In Russ.)

Fedorchuk V.N., Kuznetsova M.L., Andreeva A.A., Moiseev D.V. Vepsian Forest Reserve. Forestry research. St. Petersburg: Publishing House of SPbNIIHL, 1998. 208 p. (In Russ.)

Germanova N.I. The tree litter rate of decomposition in Kivach Nature Reserve. *Ecological, geochemical and biological patterns of soil formation in taiga forest ecosystems*. Petrozavodsk, 2009, pp. 68–87. (In Russ.)

Hui D., Deng Q., Tian H., Luo Y. Climate change and carbon sequestration in forest ecosystems. *Handbook of climate change mitigation and adaptation*. Cham, 2017, pp. 555–594. DOI: 10.1007/978-3-319-14409-2_13.

Ivanov A.V., Braun M., Zamolodchikov D.G., Lynov D.V., Panfilova E.V. Forest litter as a part of the carbon cycle of coniferous and broadleaf plantations of southern Primorye. *Soil science*, 2018, no. 10, pp. 1226–1233. DOI: 10.1134/S0032180X18100052. (In Russ.)

Ivanova E.A. Production and decomposition of tree litter in forest ecosystems under background conditions and during aerotechnogenic pollution. *Questions of forest science*, 2021, vol. 4, no. 3, pp. 1–52. DOI: 10.31509/2658-607x-202143-87. (In Russ.)

Ivanova E.A., Isaeva L.G. Dynamics of the mass and composition of tree litter in the pine forest of the Lapland Nature Reserve. *Proceedings of the Fersman scientific session of the GI KSC RAS*, 2019, no. 16, pp. 211–215. DOI: 10.31241/FNS.2019.16.043. (In Russ.)

Kazimirov N.I., Volkov A.D., Zyabchenko S.S., Ivanchikov A.A., Morozova R.M. Metabolism and energy in the pine forests of the European North. Leningrad: Nauka, 1977. 301 p. (In Russ.)

Kuznetsova A.I. Influence of vegetation on soil carbon pool in forests (review). *Questions of forest science*, 2021, vol. 4, no. 4, pp. 41–95. DOI: 10.31509/2658-607x-2021-44-95. (In Russ.)

Likhanova N.V. The role of forest litter in the cutting spruce forests of the middle taiga. *BHEI. Russian Forestry Journal*, 2014, no. 3, pp. 52–66. (In Russ.)

Lukina N.V., Tikhonova E.V., Shevchenko N.E., Gornov A.V., Kuznetsova A.I., Geraskina A.P., Shanin V.N. Carbon accumulation in forest soils and the successional status of forests. Moscow: Ass-n of Sci. Publ. KMK, 2018. 232 p. (In Russ.)

Managing forest carbon in a changing climate. Springer Dordrecht, 2012. 424 p. DOI: 10.1007/978-94-007-2232-3.

Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3: Mnogoletnie dannye. Chasti 1–6. Vyp. 3: Karelskaya ASSR, Leningradskaya, Novgorodskaya, Pskovskaya, Kalininskaya i Smolenskaya oblasti. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988. 692 p. (In Russ.)

Nikonov V.V. Stocks and composition of litter of secondary pine forests at the northern limit of growth. *Soil science*, 1986, no. 6, pp. 79–88. (In Russ.)

Nikonov V.V., Lukina N.V. Biogeochemical functions of forests at the northern limit of distribution. Apatity: KSC RAS, 1994. 315 p. (In Russ.)

Pitman R., Bastrup-Birk A., Breda N., Rautio P. Sampling and Analysis of Litterfall. *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*. Hamburg, 2010, ch. XIII, 16 p.

Redko G.I. Lindulovskaya larch plantation: a textbook. Leningrad: LFA, 1984. 96 p. (In Russ.)

Tretyakov N.V., Gorskii P.V., Samoylovich G.G. Taxation Handbook. Moscow, Leningrad: Goslesbumizdat, 1952. 853 p. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 02.09.2025

Тихонов С.В., Горшков В.В., Капица Е.А., Хомяков Ю.В., Вертебный В.Е., Шорохова Е.В. Фракционный состав древесного опада и содержание углерода в нем в ельниках природного парка «Вепсский лес» // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 6–28. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.6-28

Опад древесных растений играет ведущую роль в круговороте углерода лесных экосистем. Целью данной работы являлась оценка фракционного состава опада и углерода в нем в чернично-сфагновых и черничных коренных и производных ельниках резервата «Вепсский лес» в Ленинградской области. Масса годовичного древесного опада в различных лесных сообществах изменялась от 1,44 до 2,62 т га⁻¹ год⁻¹, в среднем – 2,10 т га⁻¹ год⁻¹. Основу опада составляют хвоя и листья – 52% в коренных лесах и 70% во вторичных. Коренные леса характеризуются в три раза большим вкладом генеративных органов в общую массу опада (16%) по сравнению с вторичными лесами (6%). По вкладу фракции фрагментов ветвей (18-20%) сообщества разного сукцессионного статуса не различаются. Содержание углерода в основной части значимых фракций опада (62% от массы опада) варьирует от 47,5 до 49,5%. Меньшая – 27% от массы опада – содержит 50,1-51,5% углерода. Содержание углерода в хвое и листьях достоверно увеличивается в ряду «листья осины (47,5%) – хвоя ели (48,3%) – листья березы (49,1%) – хвоя сосны (51,4%)». Количество углерода, поступающего на поверхность почвы с древесным опадом за год, составило в коренных лесах 0,69 и 1,02 тС га⁻¹ год⁻¹; во вторичных лесах – 1,10 и 1,30 тС га⁻¹ год⁻¹.

Ключевые слова: древесный опад, подстилка, углерод, коренные и производные леса.

Tikhonov S.V., Gorshkov V.V., Kapitsa E.A., Khomyakov Yu.V., Vertebny V.E., Shorokhova E.V. Fractional composition of tree litterfall and its carbon content in spruce forests in the Vepssky Forest Nature Reserve. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 6–28 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.6-28

Tree litterfall plays an important role in the carbon cycle of forest ecosystems. The aim of this work was to evaluate the fractional composition of tree litterfall and carbon in blueberry-sphagnum and blueberry old-growth and secondary spruce forests of the Vepssky Forest Reserve situated in the Leningrad region, Russia. The amount of annual tree litterfall in various forest types varied from 1.44 to 2.62 t ha⁻¹ year⁻¹, averaging 2.10 t ha⁻¹ year⁻¹. Needles and leaves represented the greatest part of tree litterfall – 52% in the old-growth forests and 70% in the secondary forests, respectively. The litterfall in the old-growth forests had three times greater content of generative organs (16%) compared to the secondary forests (6%). The carbon content in the main part of the tree litterfall (62% of the mass of the litter) varied from 47.5 to 49.5%. The smallest part – 27% of the tree litter mass – contained 50.1–51.5% of carbon. The carbon content in needles and leaves increased in the raw “aspen leaves (47.5%) – spruce needles (48.3%) – birch leaves (49.1%) – pine needles (51.4%)”. The amount of carbon entering to the forest floor with tree litter in the old-growth forests was 0.69 and 1.02 tC ha⁻¹ year⁻¹; in secondary forests – 1.10 and 1.30 tC ha⁻¹ year⁻¹, respectively

Key words: tree litterfall, carbon, old-growth and secondary forests.

ТИХОНОВ Сергей Владимирович – доцент кафедры общей экологии, анатомии и физиологии растений Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат сельскохозяйственных наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: sergtikhonov_ne2@mail.ru

TIKHONOV Sergey V. – PhD (Agriculture), Associate Professor, Department of General Ecology, Physiology and Anatomy of Plants, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: sergtikhonov_ne2@mail.ru

ГОРШКОВ Вадим Викторович – заведующий лабораторией экологии растительных сообществ Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН, доктор биологических наук. Scopus AuthorID: 7101756663.

194027, ул. профессора Попова, д. 2, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: VGorshkov@binran.ru

GORSHKOV Vadim V. – Dsc (Biological), Head of the Laboratory of Ecology of Plant Communities, Komarov Botanical Institute of the RAS. Scopus AuthorID: 7101756663.

194027. Professora Popova str. 2. St. Petersburg. Russia. E-mail: VGorshkov@binran.ru

КАПИЦА Екатерина Александровна – заведующая кафедрой общей экологии, анатомии и физиологии растений Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат биологических наук. ORCID: 0000-0002-6729-482X. Scopus AuthorID: 24068906200.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: kapitsa@list.ru

KAPITSA Ekaterina A. – PhD (Biological), Head of the Department of General Ecology, Physiology and Anatomy of Plants, Saint Petersburg State Forest Technical University. ORCID: 0000-0002-6729-482X. Scopus AuthorID: 24068906200.

194021, Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: kapitsa@list.ru

ХОМЯКОВ Юрий Викторович – ведущий научный сотрудник Агрофизического научно-исследовательского института, кандидат биологических наук. ORCID: 00000002-9149-3247. Scopus AuthorID: 57189868909.

195220, Гражданский пр., д. 14, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: himlabafi@yandex.ru

КНОМЯКОВ Yuriy V. – PhD (Biological), Senior Researcher at the Agrophysical Research Institute. ORCID: 00000002-9149-3247. Scopus AuthorID: 57189868909.

195220. Grazhdansky av. 14. St. Petersburg. Russia. E-mail: himlabafi@yandex.ru

ВЕРТЕБНЫЙ Виталий Евгеньевич – старший научный сотрудник Агрофизического научно-исследовательского института. ORCID: 0000-0002-2936-5949. Scopus AuthorID: 57201392859.

195220, Гражданский пр., д. 14, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: verteb22@mail.ru

VERTEBNY Vitaliy E. – Senior Researcher at the Agrophysical Research Institute. ORCID: 0000-0002-2936-5949. Scopus AuthorID: 57201392859.

195220. Grazhdansky av. 14. St. Petersburg. Russia. E-mail: verteb22@mail.ru

ШОРОХОВА Екатерина Владимировна – профессор кафедры общей экологии, анатомии и физиологии растений Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор биологических наук. ORCID: 0000-0002-8238-927X. WoS Researcher ID: T-6181-2017. Scopus AuthorID: 21234507300.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: shorohova@ES13334.spb.edu

SHOROKHOVA Ekaterina V. – DSc (Biological), Professor, Department of General Ecology, Physiology and Anatomy of Plants, St.Petersburg State Forest Technical University. ORCID: 0000-0002-8238-927X. WoS Researcher ID: T-6181-2017. Scopus AuthorID: 21234507300.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: shorohova@ES13334.spb.edu