

УДК 630*354:630*187

ЛЕСНЫЕ ПОДСТИЛКИ И ПОЧВЫ СПЕЛЫХ ЕЛЬНИКОВ ЧЕРНИЧНЫХ СВЕЖИХ ЗАПОВЕДНИКА «КИВАЧ»

Е. А. СОЛОМАТОВА

Институт биологии Карельского научного центра РАН

Проведенные исследования ельников черничных показали, что определяющая роль в формировании лесных подстилок принадлежит не количеству опада, а составу и свойствам опада и условиям разложения органического вещества, так как в спелых лесах масса органического вещества остается практически постоянной (Lull, 1959; классическая кривая Covington'a (Wallace Covington, 1981) и др.). Качество опада зависит от экологических условий произрастания растительности на территориях исследования.

Сочетание климатических факторов (умеренно-холодный и влажный климат, преобладание летних осадков) обусловило развитие подзолообразовательного процесса на участках исследования. Выяснилось, что направленность почвообразования зависит от соотношения и скорости проявления отдельных процессов: гумусо-аккумулятивного, иллювиально-железистого, иллювиально-железисто-гумусового, оглеения и оторфовывания, на что указывают морфологический профиль и свойства почв.

Касаясь общих черт в подстилкообразовании, можно заключить, что главное в условиях среднетаежной подзоны – это преобладание в подстилках процессов деструкции, минерализации и выщелачивания, что приводит к формированию грубогумусного типа органопрофиля.

E. A. SOLOMATOVA. FOREST LITTERS AND SOILS OF MATURE FRESH BLACKBERRY SPRUCE FORESTS OF RESERVED AREA «KIVACH»

The study of mature blackberry spruce forests showed that the formation of forest litter depended mainly on the composition and properties of litterfall, and on the conditions of organic matter decomposition. The amount of litterfall was of less importance that corresponded to the data of other researchers (Lull, 1959; Covington, 1981 etc.). The quality of litterfall depended on environmental conditions of vegetation growth at the study sites.

The combination of climatic factors (temperate cold humid climate with a predominance of summer precipitation) determined the development of Podzol formation in the study area. We found that the trend of pedogenesis depended on the ratio and velocity of particular processes: humus accumulation, iron and humus illuviation, geying, and peat formation. The processes were evidenced by the morphology and properties of soils.

We concluded that the general feature of forest litter formation in Middle taiga zone was the prevalence of processes of destruction, mineralizations and leaching, that resulted in formation of raw (mor-type) humus.

К л ю ч е в ы е с л о в а : лесные подстилки, почвы, подстилкообразование.

Особое место в лесных биогеоценозах принадлежит лесным подстилкам. Как важнейшие компоненты биогеоценозов лесные подстилки во многом определяют не только генезис лесных почв, но и продуктивность лесных насаждений.

Объекты исследования

В заповеднике «Кивач» исследования проводились на двух участках.

Участок Кивач 1. Почвообразующая порода представлена суглинистой мореной. Лес определен как спелый ельник черничный свежий. Возраст деревьев от 70 до 220 лет. Формула древостоя 9Е + 1С + Б. Господствующая порода ель европейская (91%). Подлеска нет. Сомкнутость древесного полога 0,6–0,8. Общее проективное покрытие деревьев 50%. Количество стволов на гектаре – 610. Мохово-лишайниковый ярус сравнительно более развит, чем травяно-кустарниковый. Проективное покрытие до 100% и 58,6% соответственно. Основная площадь занята черникой на Плевроции Шребера, на фоне которых выделяются пятна луговика извилистого, кислицы. Проективное покрытие лесной подстилки 63% (рис., А). На исследуемом участке много вывалов – до 320 шт./га, что соответствует около 53% от количества живых деревьев ели европейской. Средняя высота деревьев 21 м, диаметр 26 см. Количество подроста 2160 шт./га. Почвы – подзолы иллювиально-железистые, иллювиально-гумусово-железистые, иллювиально-железисто-гумусовые.

Участок Кивач 2. Почвообразующая порода представлена ленточными глинами. Лес определен как ельник черничный свежий. Возраст древостоя от 80 до 250 лет. Формула древостоя 8Е + 2Б. В древостое кроме ели европейской (81%) встречаются в примеси береза бородавчатая (12%), сосна (4%), осина (3%). В подлеске – рябина обыкновенная и шиповник иглистый. Сомкнутость крон 0,7–0,8. Средняя высота деревьев 21 м, диаметр 26 см. Количество стволов 400 шт./га. Проективное покрытие

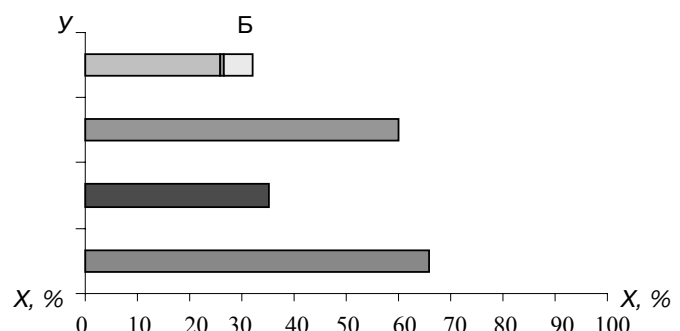
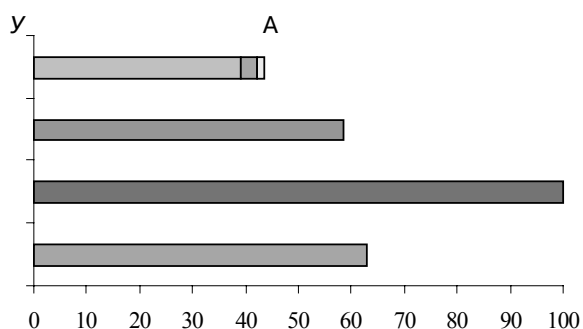
древесного яруса 32%, травяно-кустарниковый ярус развит хорошо и равномерно до 60%, мохово-лишайниковый сравнительно беден до 35%, проективное покрытие лесной подстилки 66% (рис., Б). В надпочвенном покрове преобладают луговик извилистый, черника, вейник лесной, кислица, осока, хвощ, подмаренник, плавун. Основная площадь изучаемого участка занята пятнами Плевроция Шребера и черники, вейника лесного, а также луговика извилистого и кислицы. Почва – поверхностно-подзолистая (Марковский, 2000).

Результаты и обсуждение

МОЩНОСТЬ ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК

Для оценки и сравнения реальной пространственной вариабельности лесной подстилки в ельниках черничных мощность подстилки берется в качестве критерия, позволяющего описать пространственную неоднородность лесной подстилки.

Мощность лесной подстилки даже в пределах одного типа леса может колебаться в очень широких пределах. Минимальная мощность подстилки указывает на сравнительно высокие скорости разложения опада, максимальная – на замедленные процессы разложения. В ненарушенных экосистемах на мощность подстилки влияет множество факторов, таких как форма рельефа, степень увлажнения почв, полнота леса, состав и возраст древостоя. Минимальные мощности подстилки, а значит и ее запасы, как показывают исследования (Коломыц и др., 2000; W. Covington, 1981 и др.), свойственны более молодым и относительно разреженным лесным экосистемам. При достижении спелости древостоя на мощность лесной подстилки не оказывает влияния масса ежегодного опада, а значительная роль принадлежит интенсивности разложения и гумификации мертвого органического вещества, при этом мощность подстилки остается сравнительно постоянной (Lull, 1959 и др.).



Проективное покрытие ельника черничного свежего:

А – Кивач 1; Б – Кивач 2. По оси У сверху вниз:

древесный ярус: ель, береза, сосна

травяно-кустарниковый
моховой ярус
подстилка

В каждом типе леса мощность лесной подстилки также связана с растительной парцеллой и микрозонами (Карпачевский, 1977; Морозова, Федорец, 1992 и др.).

Статистические параметры, характеризующие вариабельность мощности лесной подстилки, представлены в табл. 1. Наблюдается высокое варьирование значений мощностей лесной подстилки – 107% (Кивач 2) и 99% (Кивач 1), что свидетельствует о разнообразном проявлении процессов ее образования внутри одного типа леса в зависимости от экологических условий. Нулевой результат отмечался при попадании точки измерения на ствол, вывал, поваленное дерево, выход коренных пород и др. Максимальная мощность подстилки выявлена в ельнике черничном свежем (Кивач 1) и равна 19 см. Средняя мощность колеблется от 3,80 см на участке Кивач 1 до 2,40 см на участке Кивач 2 (табл. 1).

Таблица 1. Мощность лесной подстилки исследуемых участков

Статистическая характеристика	Кивач 1	Кивач 2
n	2916	2916
min	0,00	0,00
max	19,00	14,00
\bar{x}	3,80	2,40
$S_{\bar{x}}$	0,07	0,05
med	3,50	2,00
S^2	14,02	6,61
S	3,74	2,57
V, %	99	107
t	2,33	2,33
$M_{д.г.}$	3,64÷3,96	2,29÷2,51

Примечание. Здесь и в табл. 2–3, 6–7, 10: max – максимальное значение, min – минимальное значение, \bar{x} – среднее арифметическое значение, $S_{\bar{x}}$ – ошибка среднего арифметического, med – медиана, S^2 – дисперсия, S – среднее квадратичное отклонение, V – коэффициент вариации, %; t – критерий Стьюдента, $M_{д.г.}$ – доверительные границы для среднего арифметического (P = 0,98).

Общее проективное покрытие лесной подстилки также варьирует и в процентном отношении составляет 63 и 66% соответственно, что обусловлено большим количеством вывалов.

СТРОЕНИЕ ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК

Подстилки на двух участках подразделяются на слаборазложившийся подгоризонт L, сохранивший цвет растительных фрагментов, и бурый или черный подгоризонт F. Горизонт H встречается в виде тонких прослоек. Ниже приводится общее морфологическое описание.

Участок Кивач 1. Маломощная, влажная, бурая, рыхлая, с преобладанием остатков мха, древесного опада, пронизана корнями и мицелием грибов. Состоит из двух подгоризонтов. L – неразложившийся опад, сохранивший цвет

растительных фрагментов. F – груборазложившаяся бурая масса, содержит угли. Плохо отделяется от нижележащего горизонта. Подгоризонт L < F.

Участок Кивач 2. Маломощная, влажная, бурая, рыхлая, неслоистая, состоящая из не- и полуразложившегося древесного опада, а также остатков травянистой растительности. Пронизана корнями и мицелием грибов, плохо отделяется от нижележащего горизонта, хорошо смешана с почвенными агрегатами. Четкой границы между подгоризонтами L и F не обнаруживается. Подгоризонт L > F.

Морфологическое описание подстилок для ельников черничных характеризуется разнообразием их строения. Так, С. П. Кошельков (1961) связывает это с сильно выраженным микрорельефом в данном типе леса, что ведет к существенным изменениям состава напочвенного покрова.

Сравнение с многочисленными литературными данными (Куликова, Егорова, 1965; Карпачевский, 1981; Никонов, 1986; Olsson, 1983 и др.) показало, что строение подстилок типично для многих хвойных лесов средней и северной тайги.

ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ

Разделение подстилки на фракции по размерам позволило отделить крупные компоненты (большие корни, шишки, древесину, ветки), поступление которых в подстилку носит стохастический характер, от хвойного и листового опада, мелких корней и продуктов их разрушения. В структурном отношении условное деление на «активную» (<5 мм) и «пассивную» (>5 мм) фракции отражает общий характер различий этих фракций (Карпачевский, 1977).

Статистические параметры, характеризующие фракционный состав лесной подстилки ельника черничного свежего (Кивач 1), даны в табл. 2. Большая часть подстилки представлена фракциями >1 мм с максимумом во фракции 2–1 мм 28,35%. Во всех фракциях наблюдается широкий размах значений, небольшая разница между средним арифметическим и медианой. Значение дисперсии превышает 60 во фракциях >10 мм, 5–3 мм и 2–1 мм. Максимальная вариабельность 118% наблюдается во фракции 10–7 мм.

Статистические параметры, характеризующие фракционный состав лесной подстилки ельника черничного свежего (Кивач 2), даны в табл. 3. Большая часть подстилки также представлена фракциями >1 мм с максимумом во фракции 2–1 мм 28,95%. Во всех фракциях наблюдается широкий размах значений, небольшая разница между средним арифметическим и медианой. Максимальное значение дисперсии 142,62 и максимальная вариабельность 81% наблюдается во фракции >10 мм.

Таблица 2. Содержание различных фракций по размерам в лесной подстилке ельника черничного свежего (Кивач 1) (n = 36), % от сухой массы

Статистический параметр	Фракция, мм										Активная	Пассивная
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	>5		
max	30,90	18,18	13,84	33,71	29,46	45,03	5,51	17,03	9,76	45,34	97,04	
min	1,45	0,00	0,14	1,20	8,96	3,79	0,82	3,54	2,80	2,96	54,66	
\bar{X}	13,33	3,57	3,51	17,12	16,97	28,35	2,06	9,15	5,94	20,41	79,59	
$S_{\bar{x}}$	1,39	0,70	0,51	1,32	0,73	1,34	0,18	0,56	0,30	1,88	1,88	
med	11,91	1,93	2,70	16,64	16,20	28,83	1,68	8,75	5,99	18,64	81,36	
S^2	69,37	17,67	9,47	62,80	18,95	64,62	1,17	11,15	3,25	127,54	127,54	
S	8,33	4,20	3,08	7,92	4,35	8,04	1,08	3,34	1,80	11,29	11,29	
V, %	63	118	88	46	26	28	52	36	30	55	14	
$M_{д.г.}$	9,91±16,74	1,85±5,29	2,25±4,77	13,87±20,37	15,18±18,75	25,06±31,65	1,62±2,51	7,78±10,52	5,20±6,68	15,78±25,04	74,96±84,22	

Таблица 3. Содержание различных фракций по размерам в лесной подстилке ельника черничного свежего (Кивач 2) (n = 36), % от сухой массы

Статистический параметр	Фракция, мм										Активная	Пассивная
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	>5		
max	55,92	6,02	11,93	33,02	35,43	44,42	4,70	13,80	8,43	59,68	93,63	
min	3,47	0,78	0,88	5,84	6,51	12,05	0,94	1,67	1,25	6,37	40,32	
\bar{X}	14,67	2,68	4,54	18,60	17,61	28,95	2,37	6,56	4,00	21,90	78,10	
$S_{\bar{x}}$	1,99	0,22	0,50	1,18	0,86	1,52	0,16	0,49	0,31	2,15	2,15	
med	10,81	2,63	3,59	19,00	18,04	28,87	2,29	6,08	3,98	20,31	79,69	
S^2	142,62	1,69	9,00	50,09	26,66	83,15	0,92	8,65	3,38	165,99	165,99	
S	11,94	1,30	3,00	7,08	5,16	9,12	0,96	2,94	1,84	12,88	12,88	
V, %	81	48	66	38	29	32	40	45	46	59	16	
$M_{д.г.}$	9,77±19,57	2,15±3,22	3,31±5,77	15,70±21,50	15,50±19,73	25,21±32,68	1,98±2,77	5,36±7,77	3,25±4,76	16,62±27,18	72,82±83,38	

Таблица 4. Фракционный состав лесных подстилок в различных микрозонах, % от сухой массы

Микро-зона	Содержание фракций, %; размер частиц, мм										Сумма фракций, %	
	>10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	<0,25	>5 мм	<5 мм	
Участок Кивач 1												
«Ствол»	12,22	5,06	5,13	20,88	15,85	26,62	1,65	7,66	4,93	22,41	77,59	
«Крона»	14,74	2,42	1,99	16,56	18,63	28,49	1,94	9,32	5,92	19,15	80,85	
«Окно»	13,45	3,03	3,06	14,58	16,97	29,58	2,44	10,18	6,71	19,54	80,46	
Участок Кивач 2												
«Ствол»	9,53	2,29	5,25	20,30	18,96	30,72	2,70	6,83	3,43	17,06	82,94	
«Крона»	17,51	3,21	4,94	18,89	15,82	27,26	2,25	6,14	3,99	25,66	74,34	
«Окно»	14,04	2,44	4,14	17,73	18,13	29,90	2,40	6,94	4,28	20,62	79,38	

Фракционный состав лесных подстилок показал, что на участках Кивач 1, Кивач 2 преобладает «активная» фракция, что вполне коррелирует с содержанием в компонентном составе активной и неактивной фракций. На участках накопление «активной» фракции в большей степени происходит за счет механического преобразования опада.

Внутрипарцеллярная неоднородность лесной подстилки по микрозонам

Для участков Кивач 1 и Кивач 2 рассмотрена внутрипарцеллярная неоднородность лесной подстилки в особенностях ее фракционного состава на различных участках по направлению от ствола дерева к просвету между кронами (табл. 4). Для всех микрозон исследуемых участков наблюдается наибольший процент содержания частиц крупного (>10 мм) и среднего (5–3 мм, 3–2 мм, 2–1 мм) размера. Тонкодисперсная фракция (<1 мм) на участке Кивач 1 постепенно увеличивается от «ствола» 14,25% и «кроны» 17,18% к «окну» 19,53%. На участке Кивач 2 во всех микрозонах содержание частиц <1 мм приблизительно одинаковое – около 13%. В отличие от литературных данных для сосняков (Парамонова, Окунева, 1998), внутрипарцеллярная неоднородность лесной подстилки для «пассивной» и «активной» фракций не проявилась. Доля «пассивной» и «активной» фракций примерно одинакова для всех микрозон – 20 и 80% соответственно.

В заключение следует отметить, что литературных данных по фракционному составу лесных подстилок практически нет. Значительная варибельность содержания фракций лесных подстилок связана с множеством факторов. В случае, если ставится задача оценить функционирование подстилки как сорбционного барьера, крупные компоненты могут не учитываться вовсе, поскольку по сравнению с наиболее активной частью подстилки, трухой, их сорбирующая поверхность ничтожна.

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ

В подстилках исследованных ельников выделены следующие компоненты: хвоя, корни, ветки, почки, кора, листья, древесина, мох, измельченные растительные остатки, которые сложно идентифицировать (труха). Здесь и да-

лее к активной фракции относятся листья, хвоя, травы, почки, труха, к неактивной – все другие компоненты; к неустойчивым – листья, травы, к устойчивым – все другие компоненты, кроме трухи (Богатырев, 1990).

В компонентном составе подстилки ельника черничного свежего (Кивач 1) (табл. 5) преобладают мох – 28,94% и ветки – 16,18%. Значительна часть неактивной фракции – 74,33%, в которой доминируют мох, ветки, шишки – 55,71%. Листья и трава составляют 5,39 и 1,41% соответственно. Отношение неустойчивых компонентов к устойчивым – 0,1, отношение трухи к сумме компонентов – 0,1.

Таблица 5. Содержание различных компонентов в лесной подстилке, % от сухой массы

Компоненты	Кивач 1	Кивач 2
Листья	5,39	6,05
Хвоя	5,54	12,10
Ветки	16,18	16,88
Древесина	3,76	1,97
Кора	5,86	2,19
Почки	2,69	2,69
Шишки	10,59	6,96
Травы	1,41	9,60
Мох	28,94	11,18
Корни	9,00	15,57
Труха	10,65	14,81

Наибольший процент в компонентном составе подстилки ельника черничного свежего (Кивач 2) (табл. 5) приходится на ветки (16,18%) и корни (15,57%). Доли активной и неактивной фракций приблизительно равны. Опад травяно-кустарничкового и мохового ярусов в составе подстилки немного превышает опад древесного яруса – 51,52%. Листья и трава составляют 6,05 и 9,60% соответственно. Отношение неустойчивых компонентов к устойчивым – 0,2, отношение трухи к сумме компонентов – 0,2.

Если характеризовать компонентный состав на участках по двум преобладающим компонентам, оказывается, на участке Кивач 1 – веточно-моховая, на участке Кивач 2 – корне-веточная. Содержание компонентов в верхнем подгоризонте зависит от их поступления в подстилку, т. е. от структуры фитоценоза и направления ветра. Содержание же компонентов в нижнем подгоризонте зависит от скорости их разложения, главным образом от микрорельефа и связанного с ним увлажнения.

Компонентный состав лесных подстилок по фракциям

Статистические параметры, характеризующие состав лесной подстилки во фракциях на участке Кивач 1, представлены в табл. 6. Наблюдается большой размах значений и высокий коэффициент вариации компонентов во всех фракциях. Содержание листьев колеблется от 0,17% во фракции >10 мм до 9,43% во фракции 10–7 мм.

Для хвои, почек, шишек, древесины, коры, корней, травы значение медианы во многих фракциях равно 0, что означает в более половины случаев отсутствие этих компонентов или содержание их в небольших количествах. Хвоя присутствует в мелких фракциях. Максимальное количество обнаруживается во фракции 3–2 мм – 14,44%. Почки распределены неравномерно. Наибольшее количество – во фракции 5–3 мм – 9,90%. Шишки и ветки содержатся преимущественно в крупных фракциях, причем

Таблица 6. Содержание различных компонентов во фракциях лесной подстилки ельника черничного свежего (Кивач 1) (n = 30), % от сухой массы

Компонент	Статистический параметр	Фракция, мм					
		>10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1
Листья	max	0,48	33,16	30,56	14,89	33,61	20,43
	min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	\bar{X}	0,17	9,43	7,44	4,95	6,07	4,31
	$S_{\bar{x}}$	0,04	2,03	1,79	0,80	1,94	1,43
	med	0,00	3,29	3,34	3,91	1,26	0,00
	S^2	0,05	123,41	96,02	19,35	113,15	61,42
	S	0,22	11,11	9,80	4,40	10,64	7,84
	V, %	4	118	132	89	175	182
	$M_{д.г.}$	0,10÷0,24	5,98÷12,88	4,40÷10,48	3,58÷6,31	2,77÷9,37	1,88÷6,74
	Хвоя	max	0,00	3,82	3,19	22,58	34,39
min		0,00	0,00	0,00	0,76	1,94	0,00
\bar{X}		0,00	0,38	0,98	11,02	14,44	6,43
$S_{\bar{x}}$		0,00	0,21	0,22	1,19	2,15	0,91
med		0,00	0,00	0,44	11,71	11,22	6,33
S^2		0,00	1,36	1,43	42,52	139,01	24,75
S		0,00	1,17	1,19	6,52	11,79	4,98
V, %		0,00	305	122	59	82	77
$M_{д.г.}$		0,00÷0,00	0,02÷0,74	0,61÷1,35	8,99÷13,04	10,78÷18,10	4,88÷7,97
Почки		max	2,94	0,00	8,21	22,41	4,64
	min	0,00	0,00	0,00	3,44	0,56	0,00
	\bar{X}	0,29	0,00	2,81	9,90	2,11	1,00
	$S_{\bar{x}}$	0,16	0,00	0,60	1,29	0,22	0,27
	med	0,00	0,00	0,76	5,72	1,94	0,00
	S^2	0,80	0,00	10,78	50,14	1,40	2,23
	S	0,90	0,00	3,28	7,08	1,18	1,49
	V, %	0,00	0,00	117	72	56	149
	$M_{д.г.}$	0,02÷0,57	0,00÷0,00	1,79÷3,83	7,70÷12,10	1,74÷2,47	0,54÷1,46
	Шишки	max	93,11	57,13	68,25	22,66	10,35
min		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
\bar{X}		15,24	23,02	17,13	6,75	1,38	0,00
$S_{\bar{x}}$		5,15	4,57	4,06	1,65	0,57	0,00
med		0,89	11,87	4,16	2,31	0,00	0,00
S^2		796,49	626,29	494,58	81,73	9,72	0,00
S		28,22	25,03	22,24	9,04	3,12	0,00
V, %		185	109	130	134	2,26	0,00
$M_{д.г.}$		6,48÷24,00	15,26÷30,79	10,22÷24,03	3,94÷9,55	0,41÷2,35	0,00÷0,00
Ветки		max	79,55	50,00	85,16	34,81	16,16
	min	0,00	0,00	3,70	5,68	0,00	0,00
	\bar{X}	17,58	22,08	28,58	21,96	5,15	1,72
	$S_{\bar{x}}$	4,86	3,42	5,34	1,87	0,87	0,64
	med	7,04	15,52	15,71	24,16	4,23	0,00
	S^2	707,17	350,00	856,63	104,46	22,80	12,45
	S	26,59	18,71	29,27	10,22	4,78	3,53
	V, %	151	85	102	47	93	205
	$M_{д.г.}$	9,32÷25,83	16,27÷27,88	19,50÷37,67	18,78÷25,13	3,67÷6,64	0,63÷2,82
	Древесина	max	56,63	16,67	28,74	15,70	3,64
min		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
\bar{X}		9,82	4,18	4,84	2,86	0,61	0,22
$S_{\bar{x}}$		3,55	1,17	1,60	0,87	0,22	0,12
med		0,00	0,00	0,00	1,16	0,00	0,00
S^2		378,89	41,34	77,17	22,51	1,44	0,47
S	19,47	6,43	8,78	4,74	1,20	0,68	

Окончание табл. 6

Компонент	Статистический параметр	Фракция, мм					
		>10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1
	V, %	198	154	181	166	196	305
	M _{д.г.}	3,78÷15,86	2,18÷6,17	2,12÷7,57	1,38÷4,33	0,24÷0,98	0,01÷0,44
Кора	max	91,36	72,76	16,57	2,24	11,67	1,51
	min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	\bar{X}	13,28	17,44	2,12	0,66	1,53	0,15
	S \bar{x}	5,08	4,72	0,91	0,16	0,64	0,08
	med	0,87	4,62	0,00	0,00	0,00	0,00
	S ²	773,30	667,28	25,00	0,79	12,29	0,21
	S	27,81	25,83	5,00	0,89	3,51	0,46
	V, %	209	148	236	135	230	305
	M _{д.г.}	4,65÷21,91	9,43÷25,46	0,57÷3,67	0,38÷0,93	0,44÷2,62	0,01÷0,29
	max	87,82	8,63	4,15	18,90	34,66	69,91
min	0,00	0,00	0,00	1,15	0,00	0,00	
\bar{X}	22,08	2,15	0,81	5,15	5,96	17,84	
S \bar{x}	5,44	0,63	0,24	0,91	1,84	4,07	
med	3,38	0,00	0,00	3,69	2,78	7,94	
S ²	887,43	11,76	1,76	24,92	101,59	498,08	
S	29,79	3,43	1,33	4,99	10,08	22,32	
V, %	135	159	164	97	169	125	
M _{д.г.}	12,84÷31,33	1,09÷3,21	0,40÷1,22	3,60÷6,70	2,83÷9,09	10,91÷24,76	
Травы	max	35,44	43,75	0,85	2,82	1,86	0,00
	min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	\bar{X}	3,54	4,38	0,09	0,28	0,19	0,00
	S \bar{x}	1,97	2,44	0,05	0,16	0,10	0,00
	med	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	S ²	116,94	178,21	0,07	0,74	0,32	0,00
	S	10,81	13,35	0,26	0,86	0,57	0,00
	V, %	305	305	305	305	305	0,00
	M _{д.г.}	0,19÷6,90	0,23÷8,52	0,00÷0,17	0,01÷0,55	0,01÷0,36	0,00÷0,00
	max	66,90	77,67	62,48	59,90	94,26	94,29
min	0,00	0,00	0,00	0,00	1,64	0,00	
\bar{X}	15,72	16,94	30,82	24,08	47,31	38,77	
S \bar{x}	4,88	4,54	3,34	4,25	6,22	6,91	
med	0,88	4,01	35,02	19,95	45,49	37,94	
S ²	713,78	618,22	335,29	542,49	1162,13	1431,48	
S	26,72	24,86	18,31	23,29	34,09	37,83	
V, %	170	147	59	97	72	98	
M _{д.г.}	7,43÷24,01	9,22÷24,65	25,13÷36,50	16,86÷31,31	36,73÷57,89	27,03÷50,51	
Труха + примеси	max	22,61	0,00	17,59	42,88	53,83	81,32
	min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	\bar{X}	2,26	0,00	4,39	12,41	15,25	29,56
	S \bar{x}	1,26	0,00	1,06	2,08	2,91	5,16
	med	0,00	0,00	2,40	8,80	10,00	19,33
	S ²	47,59	0,00	33,98	129,84	254,80	797,40
	S	6,90	0,00	5,83	11,39	15,96	28,24
	V, %	305	0,00	133	92	105	96
	M _{д.г.}	0,12÷4,40	0,00÷0,00	2,58÷6,20	8,87÷15,95	10,30÷20,21	20,79÷38,32

Примечание. t – 1,70; P = 0,90.

ветки в общем содержании компонентов подстилки данного участка занимают второе место – 16,18% (табл. 5). Древесина обнаруживается во всех фракциях с максимумом в >10 мм 9,82%. Кора имеет большее значение во фракциях >10 мм и 10–7 мм – 13,28 и 17,44% соответственно, в меньших по размеру фракциях значения малы. Корни по фракциям распределены неравномерно с максимальным содержанием во фракциях >10 мм – 22,08% и 2–1 мм – 17,84%. В компонентном составе исследуемой подстилки встречаются травы в очень незначительном количестве (1,41%) (табл. 5) и в крупных фракциях >10 мм и 10–7 мм.

В основном лесная подстилка ельника черничного свежего (Кивач 1) состоит из мха. Максимальное значение 47,31% во фракции 3–2 мм, что подтверждают исследования, проведенные ранее. Чем больше в составе напочвенных рас-

тений мхов, тем выше количество их в лесной подстилке (Морозова, Федорец, 1992). Проективное покрытие мха на участке составляет 100%. Наибольший процент мха в мелких фракциях: 47,31% во фракции 3–2 мм и 38,77% во фракции 2–1 мм. Из статистических параметров следует отметить широкий размах значений и высокую дисперсию.

Труха содержит большое количество примесей минеральных частиц. Наибольший процент содержания трухи 29,56% обнаружен во фракции 2–1 мм. Из статистических параметров содержания трухи следует отметить высокую дисперсию, связанную с неоднородностью распределения измельченного материала.

Статистические параметры и данные, характеризующие состав лесной подстилки участка Кивач 2, представлены в табл. 7. Во всех фракциях также наблюдаются широкий размах

Таблица 7. Содержание различных компонентов во фракциях лесной подстилки ельника черничного свежего (Кивач 2) (n = 27), % от сухой массы

Компонент	Статистический параметр	Фракция, мм					
		>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1
Листья	max	5,16	24,24	16,62	7,43	14,96	20,00
	min	0,00	0,00	0,78	0,65	2,03	1,15
	\bar{X}	2,44	6,76	7,31	3,52	6,72	9,58
	$S\bar{x}$	0,33	1,46	0,98	0,41	0,86	1,20
	med	2,58	2,40	6,85	3,01	6,36	9,61
	S^2	3,00	57,67	26,07	4,49	20,11	38,81
	S	1,73	7,59	5,11	2,12	4,48	6,23
	V, %	71	1,12	70	60	67	65
	$M_{д.г.}$	1,88±3,01	4,28±9,25	5,64±18,98	2,83±4,21	5,25±8,18	7,54±11,61
	Хвоя	max	30,82	8,74	17,12	52,47	61,02
min		0,00	0,00	0,65	6,26	1,96	0,00
\bar{X}		4,12	3,87	10,44	20,38	21,27	12,54
$S\bar{x}$		1,87	0,73	1,08	2,44	3,28	2,28
med		0,00	4,07	9,16	20,30	15,90	7,45
S^2		94,04	14,40	31,70	160,41	290,82	140,79
S		9,70	3,80	5,63	12,67	17,05	11,87
V, %		236	98	54	62	80	95
$M_{д.г.}$		0,94±7,29	2,63±5,12	8,60±12,28	16,23±24,52	15,69±26,85	8,66±16,43
Почки		max	3,65	0,85	25,30	8,43	16,74
	min	0,00	0,00	0,00	0,87	0,00	0,00
	\bar{X}	0,41	0,19	5,96	5,09	4,25	0,22
	$S\bar{x}$	0,22	0,07	1,53	0,39	0,89	0,12
	med	0,00	0,00	2,40	5,49	3,17	0,00
	S^2	1,36	0,13	63,20	4,06	21,60	0,39
	S	1,17	0,36	7,95	2,02	4,65	0,63
	V, %	288	191	133	40	109	288
	$M_{д.г.}$	0,02±0,79	0,07±0,31	3,36±8,56	4,43±5,75	2,73±5,77	0,01±0,42
	Шишки	max	55,03	78,88	38,24	29,37	7,80
min		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
\bar{X}		6,83	10,89	14,45	6,81	2,38	0,39
$S\bar{x}$		3,35	4,78	2,63	1,73	0,51	0,21
med		0,00	0,00	11,48	5,14	1,33	0,00
S^2		303,71	616,98	186,70	81,12	7,02	1,23
S		17,43	24,84	13,66	9,01	2,65	1,11
V, %		255	228	95	132	111	288
$M_{д.г.}$		1,12±12,53	2,77±19,02	9,98±18,92	3,86±9,75	1,51±3,24	0,02±0,75
Ветки		max	75,72	47,48	50,79	31,74	15,25
	min	0,00	0,00	8,24	8,82	0,00	0,00
	\bar{X}	21,56	20,06	35,19	18,58	5,59	0,28
	$S\bar{x}$	4,56	3,17	2,87	1,38	0,79	0,16
	med	13,01	20,13	39,86	20,38	4,24	0,00
	S^2	561,89	270,95	222,27	51,68	16,87	0,65
	S	23,70	16,46	14,91	7,19	4,11	0,81
	V, %	110	82	42	39	73	288
	$M_{д.г.}$	13,80±29,31	14,68±25,45	30,31±40,07	16,23±20,93	4,25±6,93	0,02±0,54
	Древесина	max	0,00	58,14	9,99	3,90	2,40
min		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
\bar{X}		0,00	8,65	2,03	0,77	0,39	0,00
$S\bar{x}$		0,00	3,49	0,66	0,25	0,15	0,00
med		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S^2		0,00	328,84	11,67	1,67	0,58	0,00
S		0,00	18,13	3,42	1,29	0,76	0,00
V, %		0,00	210	169	167	196	0,00
$M_{д.г.}$		0,00±0,00	2,72±14,58	0,91±3,14	0,35±1,20	0,14±0,64	0,00±0,00
Кора		max	12,30	26,55	4,43	2,21	3,58
	min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	\bar{X}	2,56	8,04	0,86	0,81	0,54	0,36
	$S\bar{x}$	0,94	2,26	0,29	0,19	0,22	0,13
	med	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	S^2	23,95	138,42	2,22	1,02	1,36	0,46
	S	4,89	11,77	1,49	1,01	1,17	0,68
	V, %	191	146	173	125	217	191
	$M_{д.г.}$	0,96±4,16	4,19±11,89	0,37±1,35	0,48±1,14	0,16±0,92	0,13±0,58

Окончание табл. 7

Компонент	Статистический параметр	Фракция, мм					
		>10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1
Корни	max	97,35	61,71	24,90	15,80	41,32	32,19
	min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	\bar{X}	41,14	16,71	3,44	4,33	12,39	15,41
	$S_{\bar{X}}$	7,49	4,44	1,50	0,97	2,27	2,26
	med	21,25	0,00	0,00	1,65	11,54	16,98
	S^2	1513,61	532,99	61,05	25,30	138,58	138,18
	S	38,91	23,09	7,81	5,03	11,77	11,76
	V, %	95	138	227	116	95	76
	$M_{д.г.}$	28,41±53,87	9,15±24,26	0,88±5,99	2,69±5,98	8,53±16,24	11,57±19,26
Травы	max	63,03	22,14	14,06	34,54	28,90	43,13
	min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	\bar{X}	15,51	7,38	5,93	9,82	8,37	10,56
	$S_{\bar{X}}$	4,68	1,79	1,30	2,84	2,40	3,45
	med	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	S^2	590,51	86,39	45,80	218,10	155,43	322,29
	S	24,30	9,29	6,77	14,77	12,47	17,95
	V, %	157	126	114	150	149	170
	$M_{д.г.}$	7,56±23,46	4,34±10,42	3,72±8,15	4,99±14,65	4,29±12,45	4,69±16,43
Мох	max	29,70	39,31	26,39	61,72	39,04	44,90
	min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	\bar{X}	3,95	11,14	7,05	16,72	15,05	13,19
	$S_{\bar{X}}$	1,81	2,89	2,10	3,63	2,61	2,82
	med	0,00	0,00	0,00	7,43	10,33	10,00
	S^2	88,79	225,41	118,54	355,36	184,04	213,99
	S	9,42	15,01	10,89	18,85	13,57	14,63
	V, %	238	135	154	113	90	111
	$M_{д.г.}$	0,87±7,03	6,23±16,06	3,49±10,61	10,55±22,89	10,61±19,49	8,41±17,98
Труха + примеси	max	13,40	44,14	21,89	33,43	48,68	65,00
	min	0,00	0,00	0,00	2,33	0,00	8,79
	\bar{X}	1,49	6,29	7,35	13,17	23,07	37,47
	$S_{\bar{X}}$	0,83	2,73	1,44	2,26	2,80	3,67
	med	0,00	0,00	9,32	6,86	26,91	42,16
	S^2	18,42	201,72	56,19	137,91	212,06	363,49
	S	4,29	14,20	7,50	11,74	14,56	19,07
	V, %	288	226	102	89	63	51
	$M_{д.г.}$	0,08±2,89	1,65±10,94	4,89±9,80	9,33±17,02	18,30±27,83	31,23±43,71

Примечание. $t = 1,70$; $P = 0,90$.

значений и высокий коэффициент вариабельности. Листья распределены более-менее равномерно по всем фракциям: от 2,44% во фракции >10 мм до 9,59% во фракции 2–1 мм.

Преобладают фракции хвои – 12,10% и веток – 16,88% (табл. 5). Содержание хвои колеблется от 4,12% во фракции >10 мм до 21,27% во фракции 3–2 мм. Наблюдается высокая дисперсия во фракциях <5 мм. Наибольшее количество веток обнаруживается в крупных фракциях с максимумом во фракции 7–5 мм (35,19%), там же наблюдается высокая дисперсия (табл. 7).

Почки, древесина, кора составляют небольшой процент (табл. 7). Медиана часто равна 0, что свидетельствует об отсутствии этих компонентов в половине случаев.

Наибольший процент шишек во фракциях 7–5 мм – 14,45%. Высокий размах значений, высокий коэффициент вариаций и сравнительно большая дисперсия указывают на значительную неоднородность поступления шишек при опадении.

Содержание корней неравномерно с максимумом во фракции >10 мм 41,14%. Высокий размах значений, высокие коэффициенты ва-

риации и большая дисперсия указывают на значительную неоднородность их поступления и разложения. По-видимому, это связано со значительным количеством в составе подстилки данного леса корней не только кустарничков, но и травянистых растений.

Травы и мох более-менее равномерно распределены по всем фракциям. По сравнению с другими исследуемыми подстилками содержание травянистых остатков в подстилке данного участка наибольшее 9,60% (табл. 5).

Труха содержит большой процент примесей, что связано с малой мощностью лесной подстилки и более интенсивной ее минерализацией, а также с деятельностью почвенной фауны. Содержание равномерно возрастает от 1,49% во фракции >10 мм до 37,47% во фракции 2–1 мм (табл. 7).

Особенности компонентного состава лесной подстилки по микроразонам

На компонентный состав подстилок влияет неравномерность размещения деревьев. По

направлению от «ствола» дерева к просвету между «кронами» в составе подстилок уменьшается количество хвои, древесины, коры и увеличивается доля веток, почек, мха (табл. 8). Листья более или менее равномерно распределены по всем зонам. Максимальное количество шишек наблюдается в «кроне». Для участка Кивач 1 наибольшее количество корней в составе подстилки у «стволов» деревьев, к которым приурочены полукустарники. Для участка Кивач 2 картина несколько другая. Наибольшее количество корней приходится на «окно». Травянистые остатки в составе подстилок встречаются в большем количестве у «стволов» деревьев (Кивач 2) и в «кроне» (Кивач 1). В структурном отношении трудноминерализуемые остатки шишки, ветки, древесина, кора доминируют во всех микрizonaх в «пассивной» (>5 мм) фракции, содержание других компонентов варьирует в зависимости от местных условий.

Итак, статистические параметры содержания компонентов в лесных подстилках показали, что компонентный состав лесных подстилок сильно варьирует в пределах одного типа леса – ельника черничного. На участке Кивач 1 больший процент от массы падает на мох, ветки, на участке Кивач 2 – ветки, корни. В подстилках наблюдается также значительное содержание шишек, коры, почек и древесины, по-видимому, это связано с медленной минерализацией, так как в общем опаде ельников Карелии, по литературным данным (Казимиров, Морозова, 1973), масса хвои и корней не превышает 10%, а масса коры, шишек, почек составляет менее 1%. По сведениям А. В. Слободы и др. (1973), в компонентном составе 110-летнего ельника зеленомошного средней тайги Республики Коми преобладают труха и побуревшие части мха – 67,8%, хвоя составляет 12,5%, листья – 8,5%, ветви и кора – 7,3%. Как показали наши исследования, мозаичность растительного покрова оказывает существенное влияние на компонентный состав. Так, если в напочвенном покрове преобладают мхи, то в составе подстилок их количество достигает около 60% по

массе, если черника, то увеличивается доля корней в «активной» фракции до 30% и листьев до 15%, если разнотравье, то увеличивается доля корней в «пассивной» фракции в среднем до 25%, а на отдельных участках до 50%.

Структурный анализ компонентного состава показал, что, как правило, крупные фракции состоят из шишек, веток, корней, древесины. Выявилась общая закономерность для всех участков: максимальный процент хвои по массе приходится на фракцию 3–2 мм. На участках Кивач 1 и Кивач 2 труха обнаруживается в крупных фракциях, по-видимому, это связано с режимом увлажнения почв.

ЗОЛЬНОСТЬ ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК

Зольность и зольный состав подстилок играют важную роль в изучении процессов разложения растительных остатков. В процессе минерализации и гумификации химический состав опада существенно изменяется в результате высвобождения элементов питания из органического вещества. О скорости высвобождения отдельных элементов питания и их миграции по профилю можно судить исходя из зольности и зольного состава подстилок. От зольности и зольного состава подстилок во многом зависит направленность биохимических процессов, протекающих как в лесных подстилках, так и в почвах.

Большая изменчивость компонентного состава подстилок исследуемых участков отразилась на высокой вариабельности их общей зольности (табл. 9). Наблюдается широкий размах значений. Наибольшая средняя зольность в ельнике черничном свежем (Кивач 2) – 22,75%, что связано с малой мощностью подстилки (табл. 1), компонентным составом, в котором преобладает опад зеленой массы растений (табл. 5), и примесью минеральных частиц. На участке Кивач 1 средняя зольность равна 10,74%, что вполне вписывается в исследования прошлых лет, где средняя зольность для спелых ельников черничников составляла 6–12% (Егорова, 1968).

Таблица 8. Компонентный состав лесных подстилок в различных микрizonaх, % от сухой массы

Компонент	Участок Кивач 1					Участок Кивач 2							
	Микрizona					«Ствол»		«Крона»		«Окно»			
	«Ствол»		«Крона»		«Окно»	Фракция, мм		«Ствол»		«Крона»		«Окно»	
	>5	<5	>5	<5	>5	<5	>5	<5	>5	<5	>5	<5	
Листья	6,92	5,38	6,31	3,29	4,27	6,27	2,60	5,62	7,49	7,20	8,33	7,68	
Хвоя	1,03	16,98	0,28	5,70	0,15	9,56	7,63	18,48	4,53	21,41	5,59	12,20	
Ветки	22,02	6,93	19,66	6,91	25,61	13,65	25,82	6,78	21,70	6,84	31,03	12,86	
Древесина	13,34	1,28	6,29	0,83	0,98	1,49	7,02	0,35	1,32	0,00	0,00	1,05	
Кора	10,56	0,70	6,21	0,17	14,79	1,30	4,61	0,80	4,82	0,00	0,74	0,94	
Почки	0,60	3,00	0,50	2,84	1,77	6,46	1,19	2,49	0,84	2,24	6,19	6,01	
Шишки	12,45	0,05	24,15	1,04	18,71	5,96	4,98	3,65	25,53	4,70	0,00	0,00	
Травы	0,00	0,00	8,80	0,00	0,07	0,39	14,49	21,56	8,57	0,00	1,41	0,00	
Мох	11,94	32,12	15,51	46,21	32,31	33,06	3,22	7,98	12,18	30,82	8,51	5,25	
Корни	18,96	12,74	7,82	7,64	0,78	8,83	18,11	9,76	11,67	9,41	38,19	14,55	
Труха	2,17	20,83	4,47	25,38	0,56	13,03	10,33	22,53	1,35	17,37	0,00	39,46	

Таблица 9. Содержание сырой золы в лесных подстилках исследуемых участков

Участок исследований	п	Слой подстилки	Общая зольность, %		
			минимальная	максимальная	средняя
Кивач 1	14	Ао	2,40	34,00	10,74
Кивач 2	15	Ао	2,40	39,50	22,75

Размер фракций лесной подстилки влияет на ее зольность. Зольность «активной» фракции выше, чем «пассивной». Во-первых, «пассивная» фракция в основном состоит из шишек, веток, древесины, крупных корней, т. е. из медленно минерализуемого опада с невысоким содержанием химических элементов. Во-вторых, зольность «активной» фракции повышается за счет количества минеральных примесей. Так, для участков Кивач 1 и Кивач 2 получены следующие данные средней зольности подстилки: для «активной» фракции – 11,58 и 29,59%, для «пассивной» – 4,56 и 2,36% соответственно.

Как известно, кроме вертикальной изменчивости зольности лесной подстилки выражена пространственная ее неоднородность, связанная с пестротой растительного покрова (Морозова, Федорец, 1992). Так, на участках леса с преобладанием в напочвенном покрове Плеврочия Шребера зольность колеблется от 2,36 до 7,39%. При этом «пассивная» фракция состоит на 33,63%, а «активная» – на 68,71% из мха. На участках леса с преобладанием в напочвенном покрове черники зольность лесной подстилки варьирует от 11,21 до 17,97%, вейника – от 30,87 до 39,50%, майника – от 11,53 до 17,3%, луговика – от 30,24 до 31,96%. Следует отметить, что на участках леса с травянистой растительностью доля «активной» фракции подстилки увеличивается до 97% от массы.

БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК

Результаты исследования биохимического состава и статистических параметров (табл. 10), характеризующих биохимический состав лесных подстилок спелых ельников черничных, сформированных в различных экологических условиях, показали, что среднее содержание растворимых в органических растворителях углеводов в лесной подстилке на участке Кивач 1 – 18,48%, на участке Кивач 2 – 21,15%. Количество воднорастворимых сахаров в подстилке колеблется от 0,91% (Кивач 1) до 1,48% (Кивач 2). Более половины всего количества углеводов находится в форме гемицеллюлозы. Содержание целлюлозы варьирует от 6,40% (Кивач 1) до 7,31% (Кивач 2). Минимальное количество лигнина 42,27% содержится в подстилке ельника черничного на участке Кивач 2, что вполне объясняется компонентным составом подстилок, в котором увеличивается доля травянистых остатков (табл. 5). Как известно, лигнин травянистых растений разлагается легче, чем лигнин древесных пород (Пейве, 1961). На участке Кивач 1 количество лигнина в подстилке равно 52,71%, что почти совпадает с ранее исследованным фракционным составом ельника черничного (Казимиров, Морозова, 1973). Для еловых насаждений Южной Прибалтики (Вайчис, Онюнас, 1977) картина несколько другая. В биохимическом составе подстилок преобладают лигнин (37,0–41,8%) и целлюлоза (13,9–16,2%), содержание гемицеллюлозы (11,7–13,4%) и белковых веществ (6,8–10,0%) несколько ниже. Такое же распределение наблюдается для ельника зеленомошного южной тайги (Градусов, 1958). Содержание

Таблица 10. Биохимический состав лесной подстилки ельников черничных свежих (Кивач 1, Кивач 2) (n = 15, 14 соответственно), % на абсолютно сухую навеску

Объект исследования	Статистические параметры	Потеря от прокаливания	Зола	Воднорастворимые вещества		Гемицеллюлоза	Целлюлоза	«Лигнин»	«Сырой протеин»
				С	Сахара				
Кивач 1	max	97,60	34,00	5,20	2,30	20,80	10,40	59,70	15,30
	min	66,00	2,40	2,20	0,40	6,70	4,30	39,80	39,80
	\bar{X}	89,26	10,74	3,27	0,91	11,10	6,47	52,71	7,28
	S \bar{x}	2,03	2,03	0,20	0,12	0,96	0,47	1,24	0,93
	med	91,83	8,17	3,04	0,86	10,83	6,04	53,36	6,78
	S ²	61,88	61,88	0,60	0,22	13,81	3,29	23,09	13,00
	S	7,87	7,87	0,78	0,47	3,72	1,81	4,81	3,61
	V, %	9	73	24	52	33	28	9	49
	M _{д.г.}	83,98÷94,54	5,46÷16,02	2,75÷3,79	0,59÷1,22	8,61÷13,60	5,25÷7,68	49,49÷55,94	4,86÷9,70
	Кивач 2	max	97,60	39,50	5,20	6,90	16,90	14,10	72,30
min		60,50	2,40	1,80	0,30	9,40	3,60	26,10	1,80
\bar{X}		77,25	22,75	2,67	1,48	12,36	7,31	42,27	7,29
S \bar{x}		2,84	2,84	0,23	0,49	0,64	0,86	3,31	1,38
med		77,16	22,84	2,51	0,68	11,63	6,16	42,09	6,11
S ²		113,23	113,21	0,73	3,40	5,76	10,47	153,64	26,72
S		10,64	10,64	0,86	1,84	2,40	3,24	12,40	5,17
V, %		14	47	32	124	19	44	29	71
M _{д.г.}		69,80÷84,70	15,30÷30,20	2,07÷3,27	0,19÷2,77	10,67÷14,04	5,04÷9,57	33,59÷50,95	3,67÷10,91

Примечание. t – 2,60; P = 0,98.

лигнина по подгоризонтам L, F, H равно соответственно 27,3, 21,9, 19,3%, целлюлозы – 25,7, 18,4, 16,3%, содержание гемицеллюлозы ниже – 12,6, 7,3, 6,8%.

Содержание водорастворимого углерода в подстилке на участке Кивач 2 – 2,67%, на участке Кивач 1 несколько выше – 3,27%. Содержание в подстилке «сырого протеина» почти одинаковое (табл. 10).

Изучение биохимического состава «активной» и «пассивной» фракций показало, что в «пассивной» фракции доли растворимых углеводов и водорастворимого углерода выше, чем в «активной». С содержанием лигнина такая закономерность в данном исследовании не выявлена.

В самом общем виде о степени потенциальной устойчивости лесной подстилки к разложению судят по соотношению лигнина и углеводов (табл. 11). Фактически с этим М. М. Конова (1963) связывала скорость гумификации: «Хотя растительные организмы в общем содержат одни и те же группы веществ (воски, жиры, смолы, белки, углеводы простые и сложные, лигнин и другие компоненты), однако соотношение этих веществ влияет на скорость гумификации». Из полученных данных (табл. 11) хорошо видно, что в условиях, благоприятных для гумификации (Кивач 2), отношение лигнина к углеводам сужается, а углерода к золе – увеличивается.

Биохимический состав лесных подстилок ельников черничных свежих показывает, что существенная роль принадлежит лигнину. Интересно отметить, что в лучших условиях почвообразования (Кивач 2), где процессы гумификации идут более интенсивно при самой минимальной мощности подстилки, содержание лигнина наименьшее.

Таким образом, из результатов исследования хорошо видно, что наиболее благоприятные условия для гумификации и минерализации растительных остатков складываются на участке Кивач 2, в подстилке которого концентрируется наибольшее количество растворимых углеводов и соотношение лигнина и углеводов уменьшается.

Следует заключить, что изменение биохимического состава подстилок одного типа леса – ельника черничного свежего – обусловлено рядом особенностей. Существенная роль принадлежит, во-первых, разнообразию наземного растительного покрова, сформированного на разных почвообразующих породах и почвах, во-вторых, составу опада и условиям разложения.

ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ

Почвенный покров ельника черничного свежего (Кивач 1)

В ельнике черничном свежем на участке Кивач 1 выделено три рода подзолов: иллювиально-железистые, иллювиально-гумусово-железистые и иллювиально-железисто-гумусовые. Мощность генетических горизонтов сильно варьирует. Наблюдается высокая каменность по всему профилю – от 5 до 70%. Все переходы между горизонтами заметные. Механический состав супесчаный и суглинистый, следует отметить глинистый состав на пробной площадке под Плевроцием Шребера. Распределение ила и физической глины по профилю носит аккумулятивный и элювиально-иллювиальный характер. Для всех почв характерно высокое содержание среднего и мелкого песка и крупной пыли, для пробной площадки под Плевроцием Шребера – пыли. В подзоле 150-летнего ельника черничного на суглинке южной тайги содержание частиц <0,02 мм составляет 17–18% с преобладанием фракции от 0,06 до 0,02% (Зонн, Карпачевский, 1964).

Подзол иллювиально-железисто-гумусовый сформировался под черникой и кислицей на Плевроции Шребера. Почва кислая, pH водный варьирует от 3,15 до 4,15; pH_{KCl} от 2,9 до 4,25, более низкой кислотностью характеризуется подзолистый горизонт. Вниз по профилю кислотность падает, обменные основания, наоборот, постепенно повышаются: Ca²⁺ – от 4,06 до 5,18, Mg – от 1,49 до 2,82 мг · экв/100 г. Наблюдается биогенное накопление фосфора и калия в подстилке (36,00 и 105,00 мг/100 г), а также их аккумуляция в иллювиальном горизонте (24,50 и 4,10 мг/100 г соответственно). Подвижные формы железа по Тамму преобладают в иллювиальном горизонте 4,39% и в горизонте В₂ 5,9%, по Джексону 4,55% в иллювиальном горизонте. Отношение C : N в подстилке – 31, в подзолистом горизонте – 15,73, в иллювиальном – 2,13.

Подзол иллювиально-гумусово-железистый под черникой на Плевроции Шребера по сравнению с подзолом иллювиально-железисто-гумусовым характеризуется менее кислой реакцией по всему профилю. Биогенная аккумуляция фосфора и калия в подстилке несколько выше. В иллювиальном горизонте накопление этих элементов ниже. Иллювиирование подвижных форм железа выражено сильнее. Отношение C : N в подстилке – 30,64, в подзолистом горизонте – 13,29, в иллювиальном – 20,52.

Таблица 11. Характеристика лесных подстилок исследуемых участков

Объект исследования	Углерод зола	Лигнин целлюлоза	Лигнин гемицеллюлоза	Лигнин сахара	Лигнин углеводы
Кивач 1	0,12	5,78	3,42	28,56	2,85
Кивач 2	0,16	8,14	4,75	57,92	2,00

Подзол иллювиально-железистый глинистый на пробной площадке под Плевроцием Шребера имеет более низкую кислотность. Следует отметить наибольшее содержание обменных оснований по всему профилю и более высокую аккумуляцию фосфора и калия (64,20 и 10,50 мг/100 г) в иллювиальном горизонте по сравнению с другими почвами пробных площадок.

В подзоле иллювиально-железистом супесчано-суглинистом на пробной площадке под Плевроцием Шребера наблюдается более высокая биогенная аккумуляция фосфора (46 мг/100 г) и калия (116 мг/100 г).

По характеристике лесных земель О. Г. Чертова (1981) почвы участка Кивач 1 относятся к лесным землям на суглинках моренных бескарбонатных дренированных равнин и пологих склонов с ельниками черничными и чернично-кисличными. На моренных бескарбонатных суглинках в варианте с худшим дренажом формируются грубогумусные сильноподзолистые почвы, в лучших условиях – модергрубогумусные и модергумусные разной подзолистости. Условия дренажа в этом типе земель определяются выраженностью уклона поверхности, поскольку суглинистая порода при неоднородности ее строения не обеспечивает полного сброса влаги. В формировании структуры почвенного покрова определенную роль играет микрорельеф. При сопоставлении свойств почв ельника черничного исследуемого участка с данными, приведенными О. Г. Чертовым, почвенный покров участка Кивач 1 соответствует грубогумусным подзолистым почвам. Как отмечает автор, «в этом типе лесных земель... лесные экосистемы обладают, по-видимому, значительной устойчивостью к разрушающим антропогенным воздействиям благодаря высокой скорости восстановления растительности почв на фоне достаточно высокой буферности суглинистых почв с развитым гумусовым горизонтом».

Почвенный покров ельника черничного свежего (Кивач 2)

Подзолисто-поверхностная почва ельника черничного свежего исследуемого участка Кивач 2 сформирована на ленточных глинах. Ленточные глины являются весьма специфической почвообразующей породой. Генетическими особенностями почв Карелии на ленточных глинах в заповеднике «Кивач» занималась И. П. Лазарева (Лазарева, 1971, 1973; Зонн, Лазарева, 1974). Ленточные глины Карелии характеризуются большим количеством оснований (12–14%), среди оснований Mg^{+2} преобладает над Ca^{+2} , Na^{+} и K^{+} . В ленточных глинах Карелии преобладают пылеватые фракции, содержание илстых фракций редко превышает 20% (Володин, 1969). Ленточные глины являются богатыми почвообразующими породами.

Профиль почв окрашен в различные тона коричневого цвета. Нижние горизонты уплотне-

ны. Почвы имеют гумусированный элювиальный горизонт A_1B . Отличительной особенностью морфологии этих почв является прекрасно выраженная мелкозернистая структура A_1B , образование глинисто-иллювиальных горизонтов B_t и B_{t1} . В нижней части иллювиальных корнеобитаемых горизонтов (B_t и B_{t1}) присутствуют орштейны. В подстилке есть угли.

По механическому составу почвы относятся к средним глинам. Наибольший процент падает на фракции пыли. Наблюдается небольшая аккумуляция ила в горизонте B_t . Распределение физической глины носит элювиально-иллювиальный характер.

По данным И. П. Лазаревой (1973), валовой состав илистой фракции довольно однороден. Профили обеднены оксидами кремния и железа и относительно обогащены оксидами алюминия и кальция. Относительное накопление оксида кремния при снижении содержания других оксидов отмечается только в гумусовых горизонтах. Характерно обогащение профилей подвижным железом с аккумулятивным типом распределения с максимумом в верхнем горизонте.

Почвы кислые, рН солевой колеблется от 2,9 до 4,3, рН водный – от 3,06 до 4,65. По данным И. П. Лазаревой (1971), в почве на ленточных глинах ельника черничника рН водный выше и варьирует от 4,6 до 6,4. Кислотность вниз по профилю падает. Следует отметить более кислую реакцию горизонта A_1B в почве на пробной площадке под черникой. В лесной подстилке почвы на участке под луговиком кислотность выше по сравнению с другими пробными площадками.

Перераспределения обменных оснований в минеральном профиле почв не наблюдается. Нескольку выше содержание Ca^{2+} (от 5,88 до 13,69 мг · экв/100 г) и Mg^{2+} (от 3,15 до 6,25 мг · экв/100 г) в почве под луговиком.

Биогенная аккумуляция фосфора и калия в подстилке несколько выше в почвах на пробных площадках под луговиком. Во всех почвах наблюдается аккумуляция фосфора в иллювиальных горизонтах. Характер профильного распределения подвижного железа своеобразен. Наибольшее количество отмечено в верхних горизонтах. Такой же характер распределения подвижных форм железа описан в работе И. П. Лазаревой (1973). Отношение $C : N$ в подстилке – 29,98, в элювиальном горизонте – 25,31, в иллювиальных горизонтах – 16,89 и 15,75 в почве на пробной площадке под луговиком, в почве под черникой и вейником в элювиальном горизонте отношение $C : N$ уже – 9,5 и 3,69 соответственно.

Согласно типологии лесных земель О. Г. Чертова (1981), почвы участка Кивач 2 относятся к лесным землям на суглинках пылеватых (покровных и ленточных) бескарбонатных дренированных равнин и пологих склонов с ельниками черничными зеленомошными, а в частности, к грубогумусным подзолистым. «Лесным экосистемам на этих

землях в процессе своего развития приходится преодолевать неблагоприятные физические условия местообитания. Поэтому процессы обезыливания почв здесь способствуют улучшению водно-физических свойств почв и условий дренажа и в итоге – большей реализации потенциального богатства плодородия», – отмечает автор.

Таким образом, почвенный покров ельников черничных характеризуется пространственной неоднородностью, вызванной хорошо развитым микрорельефом, парцеллярным строением напочвенного покрова, древесным ярусом и другими факторами. Установлена высокая вариабельность химических свойств почв в пределах одного типа леса, связанная с изменчивостью экологических условий.

Влияние древесного яруса и состава напочвенной растительности сказывается в основном на самых верхних горизонтах лесной подстилки и почвы. Микрорельеф оказывает глубокое влияние на морфологические и химические свойства почв (Морозова, Федорец, 1992).

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК

Общий процесс подстилкообразования состоит из ряда профилообразующих процессов, среди которых важнейшее значение имеют деструкция, ферментация, гумификация, процесс образования перегноя, оторфовывание, торфообразование. В зависимости от степени выраженности того или иного процесса и формируется морфологический профиль лесной подстилки (Богатырев, 1990).

Особенности формирования лесных подстилок в ельнике черничном свежем на участке Кивач 1 связаны с развитием подзолов на суглинистой морене, и морфологический облик подстилок определяют каменистость почв, микрорельеф, условия дренажа и растительный покров. Если почва более влагоемка, в напочвенном покрове преобладают мхи, если менее влагоемка – не только мхи, но и кустарнички. Подстилка маломощная 3,8 см, $L < F$. Во фракционном составе преобладают средние фракции. Содержание «активной» и «пассивной» фракций равно 79,59 и 20,41% соответственно. В компонентном составе подстилки преобладает опад древесных пород, среди которого на ветки приходится около 40%. Среди компонентов значительная доля принадлежит остаткам мха (28,94%). Часть неактивной фракции составляет 74,33%, в ней доминируют мох, ветки, шишки – 55,71%. Зольность невысока – 10,74%. В биохимическом составе на долю растворимых углеводов приходится значительная часть 18,48%. Содержание целлюлозы и лигнина равно 6,47 и 52,71% соответственно. Подстилка кислая, pH_{KCl} 3,15–3,4. Отношение $C : N$ широкое, 30,64–31%. В подстилке наблюдается биогенная аккумуляция фосфора и калия.

Для подзолов на участке исследования Кивач 1 характерно накопление кремнекислоты в подзолистом горизонте, полуторных окислов и гумуса в иллювиальном и биогенная аккумуляция элементов-органогенов в лесной подстилке.

Особенности формирования лесных подстилок в ельнике черничном свежем на участке Кивач 2 связаны с развитием поверхностно-подзолистой почвы на ленточных глинах. Морфологический облик подстилок определяют микрорельеф, условия дренажа и растительный покров. Подстилка маломощная 2,4 см, $L > F$. Во фракционном составе преобладают средние фракции. Содержание «активной» и «пассивной» фракций равно 78,11 и 21,89% соответственно. В компонентном составе подстилки преобладает опад древесных пород, среди которого на ветки приходится 42,1%, на хвою – 30,17%. Среди компонентов существенная доля принадлежит остаткам корней (15,57%). Зольность составляет 22,75%. В биохимическом составе на долю растворимых углеводов приходится значительная часть – 21,15%. Содержание целлюлозы и лигнина равно 7,31 и 42,27% соответственно. Подстилка кислая, pH_{KCl} 3,4–4,5. Отношение $C : N$ широкое – 24,28–29,98%. В подстилке наблюдается биогенная аккумуляция фосфора и калия.

Для почвы на участке исследования Кивач 2 характерны более интенсивная трансформация растительных остатков и процессы обезыливания верхних горизонтов.

Выводы

Установлено, что мощность лесной подстилки и подзолистого горизонта увеличивается с нарастанием гидроморфности почв и уменьшается при повышении плодородия почв. В пределах одного типа леса мощность горизонтов изменяется. По мере увеличения в напочвенном покрове доли мхов возрастает мощность подстилки и подзолистого горизонта. Появление травянистых растений приводит к уменьшению мощности лесной подстилки и появлению аккумулятивно-иллювиального горизонта A_1B .

Во фракционном составе большая часть массы подстилок приходится на «активную» фракцию (до 80%).

В компонентном составе наибольший процент массы подстилок составляет опад древесных растений (до 42%).

Выяснилось, что зольность лесных подстилок исследуемых участков в значительной степени определяется составом древостоя и характером напочвенной растительности, но большее влияние оказывают плодородие почв и влажность.

Изучение биохимического состава лесных подстилок показало, что в подстилках ельников черничных преобладают лигнин и гемицеллюлоза, третье место занимает целлюлоза. При увеличении трофности лесных экосистем, обусловленной подстиланием почв ленточными

глинами и формированием поверхностно-подзолистых почв, обнаруживается увеличение скорости разложения подстилок, которое сопровождается уменьшением содержания лигнина до минимальных величин (42%) и хорошо коррелирует с усилением процесса разложения, что указывает на оптимальные условия гумификации.

Согласно результатам исследования, при увеличении влажности лесных подстилок повышается кислотность до $\text{pH}_{\text{KCl}} 2,90\text{--}3,00$, что сопровождается накоплением обменного водорода до $5,60\text{--}7,00$ и алюминия – $1,20\text{--}4,00$ мг · экв/100 г. Это приводит к увеличению гидролитической кислотности до $131,30\text{--}135,60$ мг · экв/100 г. Степень насыщенности оснований уменьшается до 11–14%.

При изучении особенностей формирования лесных подстилок ельников черничных выяснилось, что лесные подстилки оказывают влияние на лесорастительные свойства почв. В свою очередь, качество лесных подстилок определяется почвенно-грунтовыми условиями. Но из литературных источников известно, что слишком высокая обеспеченность почв элементами питания не создает условий для непосредственного увеличения продуктивности лесов, а наоборот, как бы ухудшают лесорастительные свойства почв по отношению хвойных пород, что наиболее четко проявляется при тяжелом механическом составе. Независимо от процессов подстилкообразования и почвообразования, по классификации О. Г. Чертова (1981), по типам гумуса все исследованные лесные подстилки относятся к грубогумусному типу. Тем не менее, по классификации лесных подстилок Л. Г. Богатырева (1990), в которой подстилки, в частности, разделяются по степени разложения подгоризонтов и по их сочетанию, а также по ведущим процессам преобразования растительных остатков, на участке Кивач 1 подстилка ферментативная несопряженная, маломощная, хвойно-моховая, на участке Кивач 2 – деструктивная слабосопряженная, маломощная, мохово-хвойная.

Литература

- Богатырев Л. Г., 1990. О классификации лесных подстилок // Почвоведение. № 3. С. 118–127.
- Вайчис М. В., Онюнас В. М., 1977. Типы лесных подстилок и их связь с почвами и лесами в южной Прибалтике // Почвоведение. № 2. С. 93–99.
- Володин А. М., 1969. К вопросу изучения почвообразующих пород тяжелого механического состава // Учен. зап. Петрозаводск. гос. ун-та. Т. 15, вып. 3. С. 138–142.
- Градусов Б. П., 1958. Влияние лесных подстилок на химические свойства почв в подзоне южной тайги // Почвоведение. № 8. С. 111–116.
- Егорова Н. В., 1968. Запасы, состав опада и подстилок в березово-еловых и еловых насаждениях южной Карелии // Тр. Всесоюз. науч. конф. по лесному почвоведению «Лес и почва». Красноярск. С. 268–275.
- Зонн С. В., Карпачевский Л. О., 1964. Сравнительно-генетическая характеристика подзола, дерново-подзолистой и серой лесной почвы // Новое в теории оподзоливания и осолодения почв. М.: Наука. С. 5–44.
- Зонн С. В., Лазарева И. П., 1974. О генетических особенностях почв на ленточных глинах в Карелии // Почвенные исследования в Карелии. Петрозаводск. С. 12–22.
- Казимиров Н. И., Морозова Р. М., 1973. Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. Л.: Наука. 176 с.
- Карпачевский Л. О., 1977. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. М.: МГУ. 312 с.
- Карпачевский Л. О., 1981. Лес и лесные почвы. М.: Лесная промышленность. 270 с.
- Коломыц Э. Г., 2000. Лесная подстилка как индикатор функционирования экосистемы // Природный комплекс большого города. М.: Наука, Маик, Наука/Интерпериодика. С. 211–213.
- Кононова М. М., 1963. Органическое вещество почв. Его природа, свойства и методы изучения. М.: Изд-во АН СССР. 315 с.
- Кошельков С. П., 1961. О формировании и подразделении подстилок в хвойных южнотаежных лесах // Почвоведение. № 10. С. 19–29.
- Куликова В. К., Егорова Н. В., 1965. Состав органических веществ лесных подстилок некоторых почв Карелии // Плодородие почв Карелии. М.; Л.: Наука. С. 47–55.
- Лазарева И. П., 1971. Генетические особенности почв на ленточных глинах в Карельской АССР // Почвы Карелии и пути повышения их плодородия. Петрозаводск. С. 33–38.
- Лазарева И. П., 1973. Влияние рельефа на режим влажности почв еловых лесов в заповеднике «Кивач» // Тр. гос. заповедника «Кивач». Вып. 2. С. 202–208.
- Марковский А. В., 2000. Экология и структура малонарушенных еловых лесов Карелии: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар. 24 с.
- Морозова Р. М., Федорец Н. Г., 1992. Современные процессы почвообразования в хвойных лесах Карелии. Петрозаводск. 284 с.
- Никонов В. В., 1986. Запасы и состав подстилок вторичных сосняков на северном пределе произрастания // Почвоведение. № 6. С. 79–88.
- Парамонова Т. А., Окунева Р. М., 1998. Исследования внутрипарцеллярной неоднородности лесной подстилки соснового биогеоценоза // Почвоведение. № 6. С. 696–703.
- Пейве Я. В., 1961. Биохимия почв. М. 424 с.
- Слобода А. В., Русанова Г. В., Бушуева Е. Н., 1973. Возврат химических элементов с опадом и накопление их в подстилке ельника зеленомошного средней тайги Коми АССР // Тез. докл. всесоюз. совещ. по биогеоценологии и методам учета первичной продукции в еловых лесах. Петрозаводск. С. 97–98.
- Соломатова Е. А., 2004. Строение, состав и пространственная вариабельность лесных подстилок Восточной Фенноскандии: Автореф. дис.... канд. биол. наук. Петрозаводск. 28 с.
- Чертов О. Г., 1981. Экология лесных земель. Л.: Наука. 190 с.
- Lull H. W., 1959. Humus depth in the in the Northeast // Journal of Forestry. N 57. P. 905–909.
- Olsson M., 1983. Morphology and genesis of mor from a pine-heath stand // Studia Forestalia Suecica. 164. 14 p.
- Wallace Covington W., 1981. Changes in forest floor organic matter and nutrient content following clear cutting in northern hardwoods // Ecology. Vol. 62, N 1. P. 41–48.