

Формализованный анализ сопряженности морфогенетических типов и гумусного состояния подстилок болотных березняков

Т. Т. ЕФРЕМОВА, А. Ф. АВРОВА, С. П. ЕФРЕМОВ

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, д. 50, стр. 28
E-mail: efr2@ksc.krasn.ru*

АННОТАЦИЯ

На градиенте крупнотравные – сфагново-мертвопокровные болотные березняки выделено шесть морфогенетических типов лесной подстилки: сильноразложившаяся, среднеразложившаяся, корневищная (груборазложившаяся), торфянистая, оторфованная и торфяная. Специфика их биохимической трансформации обусловлена величиной накопления гуминовых кислот преимущественно 1-й фракции на фоне относительно равномерной скорости формирования фульвокислот. Интенсивность образования ГК-1 тесно положительно связана с биологической активностью субстрата, судя по C/N. Однако нечеткие различия этих показателей в лесоводственно-морфологических типах подстилок ограничивают их диагностическую надежность. Сгруппированные биохимические категории подстилок – мягкие (средне- и сильноразложившиеся), переходные (корневищная, торфянистая, оторфованная) и грубые (моховая) – высокозначимо дискриминируются как отношением C/N – 20, 30, 40, так и содержанием ГК-1 – 14, 10, 6 % соответственно.

Ключевые слова: болотные березняки, типы подстилок, фракционно-групповой состав органического вещества.

Лесная подстилка, сложенная органическим веществом различной степени разложения, обладает характерными свойствами и строением. Строение, наряду с составом, является важнейшим морфогенетическим признаком, тесно связанным с номенклатурой и классификацией подстилок на типовом уровне [1–5]. Существует также мнение, что для создания именно генетической классификации наиболее ценны биохимические и химические показатели, и что основанная на них классификация по своей теоретической значимости, несомненно, превосходит лесоводственно-морфологические построения [4]. Между тем С. В. Зонн [6] считает необходимым создание взаимосогласующейся номенклатуры, таксономии и классификации лес-

ных подстилок путем репрезентативного сопоставления строения, биохимизма лесных подстилок и лесного гумуса. И эта задача, поставленная более четверти века тому назад, не потеряла своей актуальности до настоящего времени.

Показано, что среди диагностических критериев вещественного состава подстилок ведущая роль принадлежит показателям состояния органического вещества и азота [7–12 и др.] Однако информации о связи биохимического состава подстилок с их лесоводственно-морфологическим строением пока явно недостаточно. Цель данной статьи – в какой-то степени восполнить этот пробел на примере болотных березняков мезоевтрофного экогенетического ряда.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в междуречье Оби и Томи на одном из наиболее крупных лесоболотных массивов площадью 2,3 тыс. га, сложенного мощными, до 6,5–7 м, торфами. К настоящему времени здесь сформировалась локально обособленная внутриболотная гидрографическая сеть, стержневыми элементами которой являются речка Еловка и древний заторфованный тальвег в 100–140 м от русла, по вогнутой поверхности которого весной аккумулируются потоки талых вод. Дренажность торфяных почв вдоль береговой линии заметно возрастает.

Большая часть болота покрыта лесом. Изучались насаждения березы пушистой, представленные разнообразными типами леса. Тренд типологического спектра березняков просматривается в направлении от русла внутриболотной речки в сторону торфяного массива. Однако визуальная фитоценотическая индикация границ типов леса затруднена в силу континуальности напочвенного растительного покрова. Объективное выделение доминирующих ассоциаций базировалось на представлении об их приуроченности к соответствующим эдафическим условиям, которые в гидроморфных местообитаниях различаются главным образом спецификой водного режима. С целью выявления этих особенностей от береговой линии в глубь болотного массива был проложен экологический профиль общей площадью 1,35 га, состоящий из 27 десятиметровых секций, который охватывает все разнообразие типологического спектра мезоевтрофных березняков.

По уровням стояния почвенно-грунтовых вод, запасам подстилки и расстоянию от русла внутриболотной речки экологический профиль был объективно (методом древовидной кластеризации) разбит на участки различной протяженности. В границах участков выделены следующие типы леса: на расстоянии 0–30 м от русла – папоротниково-крапивно-лабазниковый березняк, 30–100 м – вейниково-крапивно-лабазниковый, 100–140 м – вейниково-осоковый, 140–230 м – зеленомошно-болотно-разнотравный, 230–270 м – сфагново-мертвопокровный.

За основу классификации подстилок по морфологическим признакам взяты прописи

[3, 4]. Анализ группового и фракционного состава органического вещества подстилок выполнен по полной методике [13], разработанной для торфяно-болотных (органогенных) почв. Образцы подстилки анализировались в целом, без дифференциации на подгоризонты.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Лесоводственно-морфологическая характеристика подстилок. В экогенетическом ряду мезоевтрофных березняков выделено шесть типов лесной подстилки: сильноразложившаяся, среднеразложившаяся, корневищная (груборазложившаяся), торфянистая, оторфованная и торфяная (табл. 1). Мощность и запасы подстилок изменяются в пределах 3,6–6,2 см и 2,2–4,5 кг/м². Минимум обнаруживается в осоково-вейниковом березняке вследствие, очевидно, некоторого выноса подстилочного материала потоками талых вод, аккумулируемых весной в древнем заторфованном тальвеге – месте произрастания данного типа леса. По обе стороны от тальвега мощность подстилок плавно и практически в равной степени увеличивается. Запасы в большей мере повышаются в направлении русла внутриболотной речки за счет нарастающей плотности сложения подстилок крупнотравных березняков.

Подстилка приурочена в основном к конкретным типам леса. Полнопрофильная сильноразложившаяся подстилка формируется преимущественно в папоротниково-крапивно-лабазниковом березняке, примыкающем к руслу внутриболотной речки. Вглубь торфяного массива (по мере увеличения моховой растительности и болотного разнотравья в составе напочвенного покрова) строение подстилок упрощается: корневищная, оторфованная и торфянистая слагаются главным образом листовым и ферментативным подгоризонтами, торфяная – очесом сфагновых мхов.

По сложению наиболее своеобразны сильноразложившаяся подстилка – рыхлая, с включением кубовидных органоминеральных агрегатов (>10 и 10–5 мм), а также корневищная – слоисто-волоконистая и торфяная – губчато-слоистая. Значительно различают-

Т а б л и ц а 1

Лесоводственно-морфологическая характеристика подстилок болотных березняков

Тип леса	Микрорельеф поверхности болота*	Тип подстилки	Состав опада	Мощность, см	Запасы, кг/м ²
Папоротниково-крапивно-лабазниковый	Волнистый	Сильноразложившаяся	Древесно-крупнотравный	5,7	4,5
Вейниково-крапивно-лабазниковый	Почти ровный	То же	То же	4,7	3,3
Вейниково-осоковый	Кочковатый	Корневищная	Осоково-вейниково-древесный	3,6	2,2
Зеленомошно-болотно-разнотравный	Волнистый	Торфянистая	Низкотравно-мохово-древесный	4,5	2,5
Сфагново-мертвопокровный	Мочажина	Отгорфованная	Древесный	6,2	3,2
	Волнистый	Торфяная	Древесно-сфагновый	6,1	3,0

Тип подстилки	Строение**	Сложение	Плотность сложения, г/см ³	Характер связности	Связь с почвой
Сильноразложившаяся	O _{1,7} -O _{2,1} -O _{3,9}	Рыхлое, агрегированное	0,079	Связная, корневая	Прочная
Среднеразложившаяся	O _{1,4} -O _{2,3} -O ₃ – фрагментарно	Рыхлое	0,069	То же	Относительно прочная
Корневищная	O _{1,7} -O _{2,9}	Слоисто-волокнистое	0,062	Связная, дернино-корневая	Непрочная
Торфянистая	O _{1,2} -O _{2,3}	Слоистое	0,056	Слабосвязная, мицеллярно-корневая	»
Отгорфованная	O _{1,3,3} -O _{2,2} '-O _{2,7} ''	»	0,052	Слабосвязная, мицеллярная	»
Торфяная	Oч-O _{1,3,3} -Oч-O _{2,8}	Губчато-слоистое	0,047	Слабосвязная, ризоидно-моховая	»

П р и м е ч а н и е. * – по Иванову [14] разность отметок повышений и понижений: почти ровный 10–15 см, волнистый 15–20 см, кочковатый 20–25 см; **нижний индекс – мощность подгоризонтов, см.

ся подстилки и по характеру связности – корневой, дерниной, ризоидной, моховой, мицеллярной. В этом плане наиболее отличается от других отгорфованная древесная подстилка мертвопокровных участков, которая насквозь пронизана мицелием плесневых грибов. Связь с почвой всех типов подстилок, кроме сильноразложившейся, в основном непрочная.

Групповой и фракционный состав органического вещества подстилок. Различные типы подстилок болотных березняков отличаются прежде всего содержанием общего

углерода, плавно нарастающего от сильно-разложившейся подстилки (46,3 %) к торфяной (55,9 %) (табл. 2). Аналогичные результаты получены в бореальных лесах Центральной Канады: максимальное содержание углерода обнаружено в подстилках местообитаний, в напочвенном покрове которых доминируют лесные мхи [15]. Противоположную тенденцию обнаруживает общий азот, количество которого изменяется в пределах 1,4–2,5 %. Поэтому отношение C/N (общепризнанный показатель биологической активности) последовательно возрастает от 18,3 до 40,2

Т а б л и ц а 2

Групповой и фракционный состав органического вещества (% к $C_{\text{общ}}$) и некоторые показатели гумусного состояния морфогенетических типов подстилок болотных березняков

Показатель	Сильнораз- ложившаяся	Средне- разложив- шаяся	Корне- вищная	Оторфован- ная	Торфянис- тая	Торфяная
C^*	46,30	49,89	51,57	54,09	53,84	55,93
N^*	2,53	2,23	1,91	1,79	1,68	1,39
Отношение C / N	18,3	22,37	27,00	30,22	32,05	40,24
Гуминовые кислоты:						
ГК-1	15,77	11,89	10,26	11,85	8,75	6,33
ГК-2	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
ГК-3	9,07	8,36	8,03	8,04	7,7	7,42
сумма	24,84	20,25	18,28	19,89	16,45	13,75
Фульвокислоты:						
ФК-1а	3,11	2,93	3,51	2,75	3,27	2,97
ФК-1	13,43	13,41	12,45	10,02	12,59	11,78
ФК-2	3	2,65	3,22	3,44	3,64	2,97
ФК-3	5,12	5,23	5,51	6,03	5,78	6,02
сумма	24,66	24,22	24,69	22,24	25,28	23,74
Полисахариды:						
гемицеллюлозы	3,97	5,15	5,43	4,81	5,99	6,99
целлюлоза	2,25	1,9	2,77	2,83	2,69	3,52
сумма	6,22	7,05	8,2	7,64	8,68	10,51
Лигнино-гуминный комплекс**	44,28	48,48	48,83	50,23	49,59	52
Отношение $C_{\text{гк}}/C_{\text{фк}}$	1	0,84	0,74	0,89	0,65	0,58
Степень гумификации***	49,5	44,47	42,96	42,13	41,73	37,49
$(\Sigma\text{ГК} + \Sigma\text{ФК})/C_{\text{полисахариды}}$	7,96	6,3	5,23	5,43	4,83	3,57
$(\Sigma\text{ГК} + \Sigma\text{ФК})/C_{\text{остатка}}$	1,12	0,92	0,88	0,84	0,84	0,72

П р и м е ч а н и е. * – на 100 г навески; ** – компоненты нерастворимого остатка; *** – $(\Sigma\text{ГК} + \Sigma\text{ФК})$.

в ряду: сильноразложившаяся подстилка < среднеразложившаяся < корневищная < оторфованная < торфянистая < торфяная.

В составе органического вещества всех морфогенетических типов подстилок доминируют гумусовые вещества (37,5–49,5 % от $C_{\text{общ}}$) и лигнино-гуминный комплекс нерастворимого остатка (44,3–52,0 %). Затем в значительно меньшем количестве следуют полисахариды – 6,2–10,5 %. Соотношение гумусовых веществ с перечисленными группами соединений дает ясное представление о глубине и направленности превращений компонентов, слагающих органическое вещество. Так, изменение показателя $(\Sigma\text{ГК} + \Sigma\text{ФК})/C_{\text{полисахариды}}$ от 7,96 до 3,57 в ряду “сильноразложившаяся > среднеразложившаяся > корневищная \cong оторфованная > торфянистая

> торфяная” характеризует более высокую степень гумификации сильноразложившейся подстилки, а также меру участия в этом процессе гемицеллюлоз и целлюлозы. Аналогичную тенденцию отражает отношение $(\Sigma\text{ГК} + \Sigma\text{ФК})/C_{\text{остатка}} - 0,72-1,12$.

По типу гумуса морфогенетические типы подстилок болотных березняков в соответствии с отношением $C_{\text{гк}}/C_{\text{фк}}$ относятся в основном к гуматному типу, лишь торфянистая и торфяная – к фульватно-гуматному (по классификации [7]). Группа гуминовых кислот представлена 1-й и 3-й фракциями. Преобладают бурые гуминовые кислоты. Наиболее активно они аккумулируются в составе сильноразложившейся подстилки – 15,77 %, значительно меньше в торфяной – 6,33 %. Аналогичную, но менее выраженную тенден-

Итоги дискриминантного анализа морфогенетических типов подстилок по данным гумусного состояния

Показатель гумусного состояния	Статистическая оценка					
	лямбда Уилкса	частичная лямбда	F-критерий	ρ-уровень	толерантность (Т)	R ² (1-Т)
С / N	0,0010	0,0018	1224	0,0000	0,2283	0,7717
ГК-1	0,0011	0,0015	1444	0,0000	0,2283	0,7717

цию проявляют и ГК-3 (9,07 и 7,42 % соответственно). Среднеразложившаяся, корневищная, оторфованная и торфянистая подстилки четких изменений в количестве как ГК-1, так и ГК-3 не обнаруживают. Группа фульвокислот представлена четырьмя фракциями. Доминируют ФК-1 – 10–13,4 %. Далее, независимо от типа подстилки, следуют: ФК-3 (5,1–6,0 %) < ФК-2 (2,6–3,6 %) ≅ ФК-1а (2,7–3,1 %). Как видим, морфогенетические типы подстилок по содержанию фульвокислот практически не различаются.

Таким образом, различия в состоянии органического вещества подстилок наиболее заметны при сравнении сильноразложившейся и торфяной подстилок. Остальные, также специфичные по составу, характеризуются менее четкими, в основном плавными изменениями показателей.

Формализованная оценка соответствия морфогенетических типов фракционно-групповому составу органического вещества подстилок и выбор информативного дискриминатора. Чтобы принять решение о достоверности различий между морфогенетическими типами подстилок по уровню преобразования органического вещества и о том, какие показатели вносят значимый вклад в их разделение, использовали метод дискриминантного анализа с пошаговым включением. Переменные с толерантностью ниже заданного значения 0,01 в модель не включались. В итоговом результате только два показателя – отношение С/Н и содержание гуминовых кислот 1-й фракции совокупно вносят наибольший вклад в различие между морфологическими типами подстилок (табл. 3). О хорошей дискриминации свидетельствуют: лямбда Уилкса 0,0000 (чем меньше лямбда, тем выше качество разбиения), F-критерий 1662, связанный с лямбдой, и высокий уровень его значимости $\rho < 0,0000$. Вклад отношения С/

Н и содержания ГК-1 в различие между типами подстилок приблизительно равный. Низкие значения толерантности 0,23 свидетельствуют об избыточности одной из переменных. Это и понятно, так как содержание гуминовых кислот 1-й фракции и отношение С/Н в подстилках болотных березняков на 86 % отрицательно связаны по типу линейной функции (рис. 1). Аналогичная зависимость выявлена в бореальных лесах Канады. Показано, что величина накопления гумусовых соединений в подстилках находится в прямой зависимости от уровня концентрации в них азота [16].

Взаимоотношение между лесоводственно-морфологическими типами подстилок по содержанию ГК-1 и отношению С/Н дополнительно оценили с помощью метода многомерного шкалирования, позволяющего максимально сохранить наблюдаемые расстояния между объектами как меру их различия (сходства) заданными точками в исходном пространстве признаков. Полученное размещение точек (типов подстилок) на плоскости показано на рис. 2, а. О качестве отображения свидетельствуют: а) ясность полученной конфигурации и б) величина так называемо-

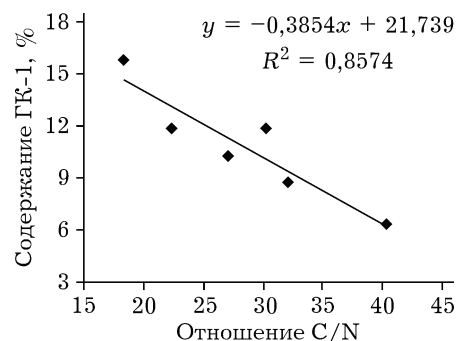


Рис. 1. Регрессионная связь содержания гуминовых кислот 1-й фракции и отношения С / N в лесоводственно-морфологических типах подстилок болотных березняков

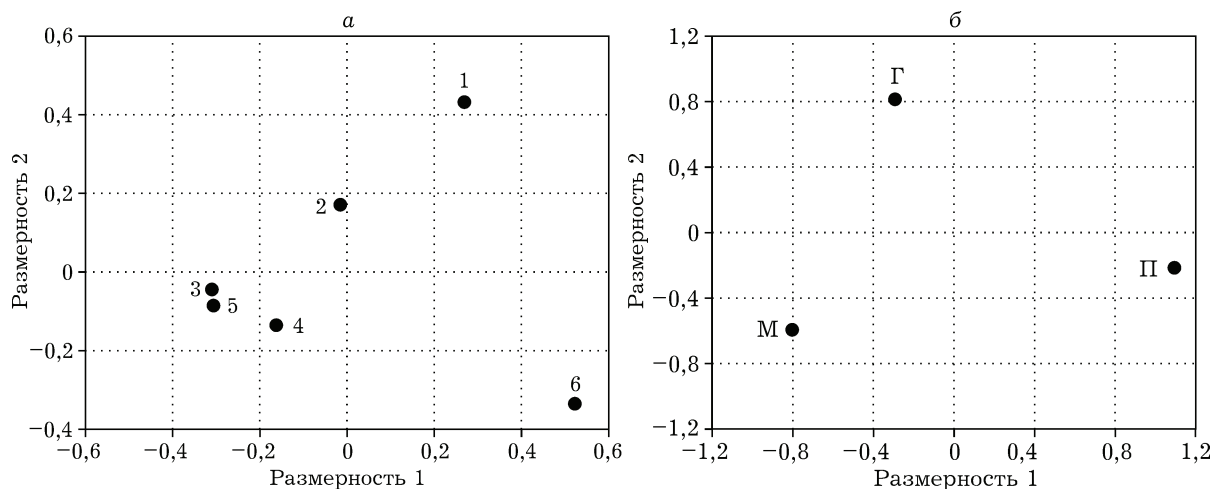


Рис. 2. Размещение на плоскости в пространстве признаков гумусного состояния морфогенетических типов подстилок (а) и их биохимических категорий (б). Типы подстилок: 1 – сильноразложившаяся, 2 – среднеразложившаяся, 3 – корневищная, 4 – оторфованная, 5 – торфянистая, 6 – торфяная. Биохимические категории подстилок: М – мягкие, П – переходные, Г – грубые

го стресса – 0,0368 (чем меньше значения стресса, тем лучше матрица исходных расстояний согласуется с матрицей результирующих расстояний). На рисунке отчетливо видно, что в пространстве признаков гумусного состояния на значительном расстоянии друг от друга находятся сильноразложившаяся и торфяная подстилки, обозначенные точками 1 и 6 соответственно. Отдельно, но близко между собой расположены корневищная (3), оторфованная (5) и торфянистая (4) подстилки. Среднеразложившаяся подстилка (2) находится приблизительно в центре описанной конфигурации.

Напрашивается вывод о возможном объединении подстилок в определенные совокупности. Помимо сугубо визуальной целесообразности группировки эта необходимость определяется также слабой информативностью (недостаточно выраженной градацией) значений S/N и содержания ГК-1, разделяющих лесоводственно-морфологические типы подстилок (см. табл. 2). Чтобы организовать их в пригодные для дальнейшего анализа группы, воспользовались методом древовидной кластеризации. Как следует из рис. 3, отчетливо сгруппировались три кластера. Обособилась торфяная подстилка, объединились в одну группу – корневищная, торфянистая и оторфованная, в другую – сильноразложившаяся и среднеразложившаяся подстилки. Проверка статистической значимости класте-

ризации, выполненная с помощью дискриминантного анализа, показала высокое качество разбиения, судя по лямбде Уилкса 0,07068, F -критерию 19,3 и p -уровню значимости $< 0,0000$.

Формализованные по данным гумусного состояния морфогенетические типы подстилок можно, в сущности, назвать биохимическими категориями. Они представляют собой группировки по строению и хорошо сочетаются с компонентным составом лесного опа-

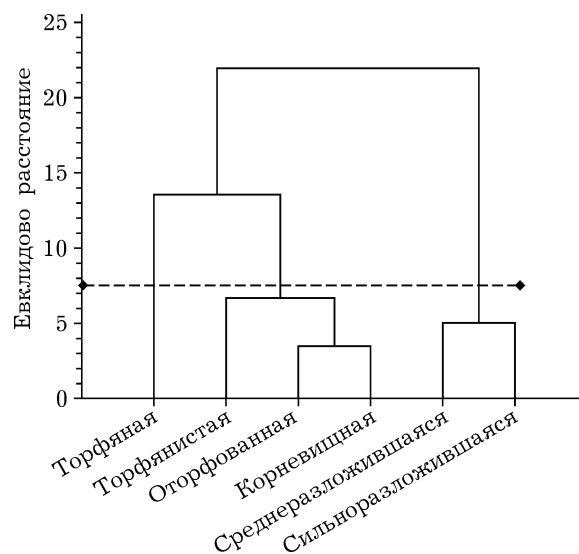


Рис. 3. Вертикальная древовидная диаграмма объединения морфогенетических типов подстилок болотных березняков в кластеры. Пунктирная линия – уровень объединения

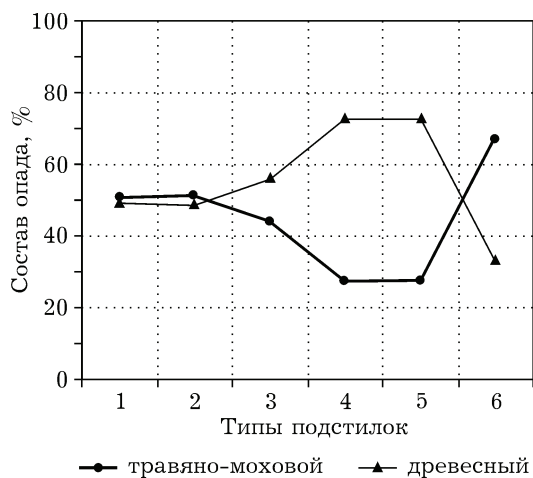


Рис. 4. Компонентный состав лесного опада морфогенетических типов подстилок болотных березняков. Типы подстилок: 1 – сильноразложившаяся, 2 – среднеразложившаяся, 3 – корневищная, 4 – оторфованная, 5 – торфянистая, 6 – торфяная

да, участвующего в их формировании. О существенной роли наземного растительного покрова в формировании свойств и состава подстилок находим также в ряде работ [1–3, 5, 9, 10, 17 и др.]. Объединение полнопрофильных (01–02–03) сильно- и среднеразложившихся подстилок крупнотравных березняков характеризуется нами как биохимическая категория мягких подстилок. Она формируется из равной доли остатков березы и трав – главным образом лабазника, крапивы, папоротника и вейника (рис. 4). Торфяную подстилку сфагново-мертвопокровных березняков, которая состоит преимущественно из очеса (Оч.) сфагновых мхов, практически не дифференцированную (Оч. 1–Оч. 2), считаем биохимической категорией грубых подстилок. Группировку слабо дифференцированных подстилок (01–02) – корневищную, оторфованную и торфянистую болотно-раз-

Т а б л и ц а 4

Групповой и фракционный состав органического вещества (% к $C_{общ}$) и некоторые показатели гумусного состояния биохимических категорий подстилок болотных березняков

Показатель	Биохимические категории морфогенетических типов подстилок		
	мягкие: сильноразложившаяся, среднеразложившаяся	переходные: корневищная, оторфованная, торфянистая	грубые: торфяная
C^*	48,09	53,17	55,93
N^*	2,38	1,79	1,39
Отношение C / N	20,20	29,77	40,24
Гуминовые кислоты:			
ГК-1	13,83	10,29	6,33
ГК-2	Нет	Нет	Нет
ГК-3	8,72	7,92	7,42
сумма	22,55	18,21	13,75
Фульвокислоты:			
ФК-1а	3,02	3,18	2,97
ФК-1	13,42	11,69	11,79
ФК-2	2,83	3,43	2,97
ФК-3	5,18	5,77	6,02
сумма	24,44	24,07	23,74
Полисахариды:			
гемицеллюлозы	4,56	5,41	6,99
целлюлоза	2,08	2,76	3,52
сумма	6,64	8,17	10,51
Лигнино-гуминный комплекс	46,38	49,55	52,0
Отношение $C_{гк}/C_{фк}$	0,92	0,75	0,58
Степень гумификации	46,99	42,28	37,49
$(\Sigma GK + \Sigma FK)/C_{полисахариды}$	7,13	5,16	3,57
$(\Sigma GK + \Sigma FK)/C_{остатка}$	1,02	0,85	0,72

П р и м е ч а н и е. * – на 100 г навески.

Оценка методом пошагового дискриминантного анализа различий между биохимическими категориями подстилок по составу органического вещества при уровне доверительной вероятности $P = 95\%$ (уровень значимости $\alpha < 0,05$)

Индекс категорий подстилок	Индекс категорий подстилок / Состав органического вещества									
	С		N		ГК-1		ГК-3		ΣГК	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1 – мягкие	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2 – переходные	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,00	–
3 – грубые	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
	ФК-1а		ФК-1		ФК-2		ФК-3		ΣФК	
1 – мягкие	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2 – переходные	0,25	–	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,51	–
3 – грубые	0,80	0,28	0,03	0,89	0,30	0,00	0,00	0,07	0,40	0,67
	$C_{ГК} / C_{ФК}$		Гемицеллюлозы		Целлюлоза		Полисахариды		Лигнино-гуминный комплекс	
1 – мягкие	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2 – переходные	0,00	–	0,01	–	0,00	–	0,00	–	0,00	–
3 – грубые	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04
	Степень гумификации		$(\Sigma ГК + \Sigma ФК) / C_{\text{полисахариды}}$		$(\Sigma ГК + \Sigma ФК) / C_{\text{остатка}}$		C/N			
1 – мягкие	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2 – переходные	0,00	–	0,00	–	0,00	–	0,00	–	–	–
3 – грубые	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	–	–

нотравно-мшистых типов леса относим к переходной биохимической категории. Она развивается из лесного опада, в котором преобладают древесные остатки.

В поисках информативного классификатора биохимических категорий подстилок в дискриминантном анализе использовали каждый из показателей группового и фракционного состава органического вещества в отдельности (табл. 4). Такой прием не противоречит и формальному подходу. Практически хороший дискриминатор может быть основан даже только на одной величине [18]. Оказалось, что выявленные совокупности подстилок значимо различаются большинством показателей гумусного состояния. Исключение составляют фульвокислоты: ни одна из фракций значимо не предсказывает принадлежность подстилок к той или иной биохимической категории (табл. 5). Судя по F -критерию – мере вклада в разделение объектов, лучшим дискриминатором является отношение C/N (95,3). Далее следуют: N (77,3) $>$ $(\Sigma ГК + \Sigma ФК)/$

$C_{\text{полисахариды}}$ (44,5) $>$ $(\Sigma ГК + \Sigma ФК)/C_{\text{общ}}$ (33,7) $>$ $>$ $\Sigma ГК-3$ (27,9) $>$ $C_{\text{общ}}$ (25,7) $>$ $\Sigma ГК$ (24,6) $>$ $>$ $\Sigma ГК-1 \equiv (\Sigma ГК + \Sigma ФК)/C_{\text{остатка}}$ (23,4–23,7) $>$ гемицеллюлозы (21,0) $>$ лигнино-гуминный комплекс $\equiv \Sigma_{\text{полисахаридов}}$ (15,9–16,4) $>$ целлюлоза $\equiv C_{ГК}/C_{ФК}$ (14,1–14,7). О высоком качестве разделения свидетельствует лямбда Уилкса, которая применительно к различным показателям колеблется в пределах 0,0484–0,3465, и ρ -уровень, связанный с лямбдой, $<$ 0,000.

Безусловно, практически все показатели гумусного состояния подстилок в той или иной степени коррелируют между собой. В этой череде классификаторов наиболее содержательными, на наш взгляд, являются отношение C/N – общепризнанный показатель биологической активности, и содержание гуминовых кислот 1-й фракции как мера глубины гумификации органогенного субстрата, согласно [19]. Кроме того, эти показатели отличаются от других своей первичностью и контрастными значениями, что важно с точ-

ки зрения их информативности. Так, мягкие, переходные и грубые биохимические категории подстилок болотных березняков идентифицируются отношением С/Н, равным 20, 30, 40, и количеством ГК-1 – 14, 10, 6 % соответственно (см. табл. 4).

Геометрическая конфигурация точек на плоскости, заданная матрицами удаленности (близости) формализованных группировок подстилок по каждому из показателей, практически идентична и демонстрируется на примере содержания ГК-1 (см. рис. 2, б). Ясность расположения точек в двумерном пространстве, а также величина стресса 0,0000 свидетельствует о высоком качестве отображения наблюдаемых расстояний между объектами как меры различия между ними.

Формализованные в биохимические категории морфогенетические типы подстилок болотных березняков хорошо вписываются в генетико-процессную классификацию Л. Г. Богатырева [5, 20, 21]. Так, биохимическая категория мягких подстилок соотнобразуется с гумифицированным типом, переходная – с ферментативным, грубая – с торфяным. Полученные результаты, на наш взгляд, не только вписываются в генетико-процессную классификацию, но и развивают и дополняют ее. Во-первых, расширяют морфогенетические признаки подстилок. Во-вторых, подробно характеризуют состав органического вещества, включая комплекс лигниноцеллюлозных соединений и продуктов гумификации. В-третьих, характеризуют наиболее информативные критерии гумусного состояния биохимических категорий подстилок, адекватных генетико-процессной классификации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На градиенте крупнотравные – сфагново-мертвопокровные болотные березняки выделено шесть морфогенетических типов подстилки: сильноразложившаяся, средне-разложившаяся, корневищная (груборазложившаяся), торфянистая, оторфованная и торфяная, приуроченных в основном к конкретным типам леса.

2. Специфика биохимической трансформации лесного опада определяется в большей

мере накоплением гуминовых кислот преимущественно 1-й фракции на фоне относительно равномерного формирования фульвокислот во всех типах подстилок. Интенсивность образования гуминовых кислот тесно положительно связана с биологической активностью субстрата, судя по С/Н. Специфика и напряженность этих процессов (при относительно равном поступлении древесного опада) регулируется флористическим составом напочвенного растительного покрова. Плавные, нечеткие изменения содержания ГК-1 и отношения С/Н в лесоводственно-морфологических типах подстилок снижают роль этих показателей в качестве диагностических критериев.

3. Выполненная по состоянию органического вещества группировка морфогенетических типов подстилок в биохимические категории мягких (средне- и сильноразложившиеся подстилки), переходных (корневищная, торфянистая, оторфованная) и грубых (моховая) подстилок с высокой точностью дискриминируются как отношением С/Н – 20, 30, 40, так содержанием ГК-1 – 14, 10, 6 % соответственно.

Авторы искренне благодарны сотруднику лаборатории лесной фитоценологии Н. В. Мелентьевой за химический анализ состава органического вещества подстилок.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 08-04-92501.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шумаков В. С. Принципы классификации, номенклатуры и картирования лесных подстилок // Сборник работ по лесному хозяйству. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1958. Вып. 35. С. 199–216.
2. Кошельков С. П. О формировании и подразделении подстилок в хвойных южно-таежных лесах // Почвоведение. 1961. № 10. С. 19–29.
3. Карпачевский Л. О. Лес и лесные почвы. М.: Лесная пром-сть, 1981. 261 с.
4. Сапожников А. П. Лесная подстилка – номенклатура, классификация и индексация // Почвоведение. 1984. № 5. С. 96–105.
5. Богатырев Л. Г., Демин В. В., Матышак Г. В., Сапожникова В. А. О некоторых теоретических аспектах исследования лесных подстилок // Лесоведение. 2004. № 4. С. 17–29.
6. Зонн С. В. Биогеоценологические и генетические основы классификации лесных подстилок // Роль подстилки в лесных биогенезах. М.: Наука, 1983. С. 80.

7. Зонн С. В. Почвы как компонент лесного биогеоценоза // Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. С. 372–458.
8. Богатырев Л. Г., Щенина Т. Г., Друженко В. С. Формальные критерии для классификации лесных подстилок // Почвоведение. 1993. № 12. С. 57–64.
9. Богатырев Л. Г. Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах // Там же. 1996. № 4. С. 501–511.
10. Mayer P. M. Ecosystem and decomposer effects on litter dynamics along an old field to old-growth forest successional gradient // Acta Oecologica. 2008. Vol. 33, N 2. P. 222–230.
11. Berg B., McLaugherty Ch. Plant Litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration. Springer Verlag, 2007. 338 p.
12. Herman J., Moorhead D., Berg B. The relationship between rates of lignin and cellulose decay in above-ground forest litter // Soil Biology and Biochemistry. 2008. Vol. 40, N 10. P. 2620–2626.
13. Пономарева В. В., Николаева Т. А. К методике изучения органического вещества в торфяно-болотных почвах // Современные почвенные процессы в лесной зоне. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 170–203.
14. Иванов К. Е. Гидрология болот. Л.: Гидрометеиздат, 1953. 297 с.
15. Yu Z., Apps M. J., Bhatti J. S. Implication of floristic and environmental variation for carbon cycle dynamics in boreal forest ecosystems of central Canada // J. of Vegetation Sci. 2002. V. 13. N 3. P. 327–340.
16. Berg B., McLaugherty Ch., Santo AVD, Johnson D. Humus Buildup in boreal forests: effects of litter fall and its N concentration // Canadian Journ. of Forest Research. 2001. Vol. 31, N 6. P. 988–998.
17. Мусорок Г. Г. Запасы и состав опада и подстилок в пихтово-еловых лесах Среднего Сихотэ-Алиня // Проблемы лесного почвоведения. М.: Наука, 1973. С. 66–71.
18. Кендалл М., Стюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М.: Наука, 1976. 736 с.
19. Ефремова Т. Т. Показатели гумусного состояния торфяных почв // Биологические науки. 1983. № 10. С. 102–108
20. Богатырев Л. Г. О классификации лесных подстилок // Почвоведение. 1999. № 3. С. 118–127.
21. Богатырев Л. Г., Алябина И. О., Маречек М. С., Самсонова В. П., Кириченко А. В., Коновалов С. Н. Подстилка и гумусообразование в лесных формациях Камчатки // Лесоведение. 2008. № 3. С. 28–38.

About Comparability of Litter Morphogenetic Peculiarities and Litter Humus State in the Bog Birch Forest

T. T. EFREMOVA, A. F. AVROVA, S. P. EFREMOV

*V. N. Sukachev Institute of Forest, SB RAS
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50, building 28
E-mail: efr2@ksc.krasn.ru*

The six litter types, such as heavily decomposed, middle decomposed, rhizome-like (coarse decomposed), turfy, peaty and turf, were determined on the gradient of large grass-dead soil cover-sphagnum in the bog birch forest. Specificity of their biochemical transformation depends on the amount of gummy acid accumulation, mainly of the first fraction (GA-1), at the background of relatively uniform rate of the formation of fulvic acids. The intensity of GA-1 formation is closely positively connected with the biological activity of substratum, judging from the C/N ratio. However, unclear distinctions between these indices of forestry-morphological litter types limit their diagnostic reliability. Grouped biochemical litter categories – mild (heavily- and middle decomposed), transitional (rhizome-like, turfy, peaty) and coarse (mossy) are significantly discriminated by the C/N ratio – 20, 30, 40, as well as by the content of GA-1 – 14, 10, 6 %, respectively.

Keywords: bog birch forest, forest litter, morphogenetic types, organic matter, humification.