

===== ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВ ВТОРИЧНЫХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ =====

УДК 631.15

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ КОМПОНЕНТЫ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК В ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ХРОНОЛОГИЧЕСКОГО РЯДА ВЫРУБОК

© 2024 г. Н. Н. Бондаренко^а (<http://orcid.org/0000-0001-5609-3283>),

Е. М. Лаптева^а (<http://orcid.org/0000-0002-9396-7979>),

Е. В. Кызырова^а, Е. М. Перминова^а (<http://orcid.org/0000-0002-8650-2524>)

^аИнститут биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
ул. Коммунистическая, 28, Сыктывкар, 167982 Россия

*e-mail: BondNikropolNik@mail.ru

Поступила в редакцию 01.03.2024 г.

После доработки 18.06.2024 г.

Принята к публикации 18.06.2024 г.

С использованием методов высокотемпературного каталитического окисления (анализатор общего углерода ТОС VCPH), газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии изучен состав водных вытяжек из лесных подстилок почвы коренного ельника чернично-зеленомошного (ПП-1) и послерубочных листовенно-хвойных сообществ 12 (ПП-2) и 43 лет (ПП-3) (подзона средней тайги, Республика Коми). Лесные подстилки на участках ПП-1 и ПП-2 сходны по составу, представлены хвойным опадом и продуктами деструкции мхов. Для них отмечены близкие значения pH водных вытяжек, содержания азота общего ($N_{\text{общ}}$) и углерода водорастворимых соединений ($C_{\text{ВОС}}$). На участке ПП-3 лесная подстилка представлена листовым опадом березы и осины разной стадии разложения, что нашло отражение в увеличении содержания общего углерода, $N_{\text{общ}}$, $C_{\text{ВОС}}$ и уменьшении кислотности. Комплекс идентифицированных ВОС представлен 25 соединениями: 12 карбоновых кислот, 9 углеводов, 4 спирта. Основной вклад в их состав вносят углеводы (гексозы). В коренном ельнике (ПП-1) прослеживается тенденция снижения в направлении от верхней части (О1) подстилки к нижней (О3) доли кислот и спиртов, при возрастании доли сахаров. В лесных подстилках почв вырубок (ПП-2, ПП-3) отмечено возрастание доли спиртов (особенно в подгоризонте О2) и снижение доли сахаров.

Ключевые слова: средняя тайга, вырубки, подзолистые почвы, водорастворимые органические соединения, низкомолекулярные органические кислоты, углеводы, спирты

DOI: 10.31857/S0032180X24110091, **EDN:** JOJKNM

ВВЕДЕНИЕ

Водорастворимые органические соединения (ВОС) — это наиболее мобильная и динамичная часть почвенного органического вещества (ПОВ), составляющая в среднем 5–15% от общего содержания углерода в почвах [28, 41, 46]. ВОС представляют собой многокомпонентную, гетерогенную смесь индивидуальных веществ различной природы и молекулярной массы, которая чутко реагирует на изменения экологических условий функционирования почв и экосистем в целом [15, 38]. Их состав оказывает непосредственное влияние на экологически значимые процессы в почве и является компонентом глобальных циклов углерода и

азота [46, 51]. Высокая реакционная способность соединений, входящих в состав ВОС, определяет специфику протекания химических реакций в почвенных растворах, играет важную роль в миграции химических элементов по профилю почв и в ландшафтах, обеспечении буферной способности почв, процессах почвообразования и т.д. [5, 14, 16, 17, 32, 35, 36, 38, 46, 47]. Качественные и количественные характеристики комплекса ВОС тесно связаны с особенностями растительного покрова, объемом и спецификой состава поступающих органических остатков, их запасами и условиями разложения, разнообразием и активностью почвенного зоомикробного комплекса, гидротермическими условиями и общими свойствами почв [5, 31, 43,

45, 48, 49]. Одной из важных характеристик ПОВ, которая может служить критерием оценки состояния почв в целом и процессов гумусообразования в частности [23], а также индикатором изменения наземных и водных экосистем [14, 50] под влиянием природных и антропогенных факторов, является содержание углерода ВОС.

В таежной зоне одним из основных факторов изменения лесных экосистем являются промышленные рубки (промышленная заготовка древесины). В частности, на территории Республики Коми площадь вырубок в последние годы неуклонно растет: в 2017 г. она составляла 157.3 тыс. га, в 2022 г. — 194.4 [7]. Бореальные леса играют ключевую роль в депонировании углерода [4, 24, 29, 30]. Однако смена видового состава растений древесного и напочвенного ярусов, изменение скорости и условий разложения растительных остатков, экологических условий почвенной среды могут привести к значительным выбросам CO_2 [8, 24, 29].

В таежных биоценозах основным источником ПОВ является лесная подстилка. Процесс естественного восстановления древесной растительности на вырубках в условиях таежной зоны сопровождается изменением морфологических, физических параметров [9, 19] и гумусного состояния [18] подзолистых почв, их температурного режима [10], качественного и количественного состава растительного опада [10, 13, 21, 24], почвенной микробиоты [6, 25, 26]. Несмотря на значительное количество работ по изучению особенностей компонентного состава ВОС [14, 36, 39, 40, 42–44], их преобразование в изменяющихся условиях окружающей среды в почвах постантропогенного воздействия изучено недостаточно.

Цель работы — оценка качественных и количественных характеристик водорастворимых компонентов почвенного органического вещества и их изменении в процессе естественного лесовосстановления после рубок хвойных еловых лесов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на территории Усть-Куломского района Республики Коми. Район исследования располагается на возвышенности Джеджимпарма (южная часть Тиманского кряжа), которая представляет собой серию рассеченных высоких гряд и холмов. Климат района умеренно-континентальный умеренно-холодный с избыточным увлажнением. Лето короткое и прохладное, зима продолжительная и холодная с устойчивым снежным покровом. Среднемесячная температура воздуха в июле составляет 16.0–16.8°C, в январе —15...–17°C. Годовое количество осадков варьирует от 500 до 600 мм с максимумом выпадения в летний период [27]. В соответствии с геоботаническим районированием Республики Коми, район

исследования расположен в Южно-Тиманском елово-пихтовом округе Тимано-Печорской подпровинции подзоны средней тайги. В растительном покрове преобладают еловые, елово-пихтовые, местами пихтовые леса, почти исключительно зеленомошные [20]. Условия почвообразования характерны для средней тайги, где на суглинисто-глинистых однородных и слоистых отложениях различного генезиса, в условиях промывного водного режима под таежными хвойными лесами с мохово-кустарничковым напочвенным покровом формируются различные подтипы подзолистых почв (Folic Albic Retisol) [19].

В качестве объектов исследования в однотипных лесорастительных условиях на территории района исследования выбрали участки лесных фитоценозов, находящиеся на разных стадиях развития и представляющие собой хроноряд послерубочной сукцессии:

ПП-1 — коренной ельник чернично-зелено-мошный;

ПП-2 — елово-березовый молодняк разнотравно-зеленомошный (вырубка 2001–2002 гг.);

ПП-3 — березняк разнотравный (вырубка 1969–1970 гг.).

Детальная характеристика растительного покрова на участках исследования, описание морфологического строения почв, их физико-химических свойств, особенностей состава ПОВ представлены в серии работ [9, 12, 18, 19, 24, 27, 37], в краткой форме даны в табл. 1.

Учитывая высокую мобильность, годовую и сезонную динамику ВОС [14, 30, 40, 49] отбор проб проводили в конце летнего периода (середина августа) 2013 г. В пределах каждого участка закладывали по 8–10 прикопок для характеристики морфологического строения лесных подстилок (подстилочно-торфяных горизонтов), определения их мощности, плотности и запасов. Расчеты и сравнительную оценку полученных результатов для подтверждения статистически достоверных различий между исследуемыми объектами осуществляли в программе Microsoft Excel, с использованием стандартных формул расчета и критерия Стьюдента. При представлении результатов о мощности, плотности и запасах лесных подстилок приведены средние значения и границы доверительного интервала (для $p = 0.05$).

Образцы подстилок для физико-химических исследований отбирали в соответствии с выделенными подгоризонтами. Физико-химические исследования выполняли в отделе почвоведения и ЦКП “Хроматография” Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Актуальную кислотность и массовую долю углерода $\omega(\text{C}_{\text{ВОС}})$ в водных вытяжках (горячая и холодная) оценивали в индивидуальных образцах лесных подстилок, объем выборки $n = 8$ (10).

Таблица 1. Характеристика объектов исследования

Показатель	Коренной ельник (ПП-1)	Вырубка 2001–2002 гг. (ПП-2)	Вырубка 1969–1970 гг. (ПП-3)
Координаты	61°45' N, 54°17' E	61°58' N, 54°03' E	61°48' N, 54°04' E
Тип рубки	—	Зимняя сплошнолесосечная, Харвестер + Форвардер	Зимняя сплошнолесосечная, трактор ТДТ-40, хлыстовая трелевка
Возраст древостоя, лет	60–230	12	43
Растительное сообщество	Ельник чернично-зелено-мошный	Елово-березовый молодняк разнотравно-зеленомошный	Березняк разнотравный
Характеристика древостоя	Состав древостоя 6Е4Пх+Б Густота древостоя 825 экз./га Подрост 71Е22Пх7Б Густота подроста 2.6 тыс. экз./га	Состав формирует молодняк 45Е45Б10Пх Густота подроста 8.5 тыс. экз./га	Состав древостоя 7Б2Е1Пх ед. Ос Густота древостоя 2.8 тыс. экз./га Подрост 68Е9Пх23Б Густота подроста 5.0 тыс. экз./га
Подлесок	<i>Sorbus aucuparia</i> , единично <i>Rosa acicularis</i> , <i>Lonicera pallustris</i>	<i>Sorbus aucuparia</i> , встречаются ива и малина	<i>Sorbus aucuparia</i>
Травяно-кустарничковый ярус	<i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Trientalis europaea</i> , <i>Maianthemum bifolium</i> , <i>Linnaea borealis</i> , <i>Dryopteris sp.</i>	Исчезают <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Trientalis europaea</i> , <i>Maianthemum bifolium</i> , <i>Linnaea borealis</i> . Появляются <i>Vaccinium vitis-idaea</i> , <i>Carex</i> , <i>Equisetum sylvaticum</i> , <i>Chamaenerion angustifolium</i>	<i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Trientalis europaea</i> , <i>Maianthemum bifolium</i> , <i>Gymnocarpium Linnea</i> , <i>Oxalis acetosella</i> , <i>Carex globularis</i> , <i>Stellaria bungeana</i> , <i>Dryopteris sp.</i>
Мохово-лишайниковый ярус	<i>Hylocomium splendens</i> и <i>Pleurozium schreberi</i> , редко <i>Polytrichum commune</i>	<i>Hylocomium splendens</i> , <i>Pleurozium schreberi</i> и <i>Polytrichum commune</i>	<i>Hylocomium splendens</i> , <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Dicranum polyetum</i>
Тип почвы до проведения рубки по классификации почв России 2004/WRB	Подзолистая почва с микропрофилем подзола/ Folic Albic Retisol	Подзолистая почва с микропрофилем подзола/ Folic Albic Retisol	Подзолистая почва с микропрофилем подзола/ Folic Albic Retisol

Актуальную кислотность измеряли потенциометрически на иономере Анион-4100, $\omega(C_{\text{вос}})$ — методом высокотемпературного каталитического окисления на анализаторе общего углерода ТОС VCPH при соотношении образец : вода 1 : 25 [34].

Содержание общего углерода $\omega(C_{\text{общ}})$ и азота $\omega(N_{\text{общ}})$, а также качественный и количественный состав низкомолекулярных ВОС определяли в смешанных образцах, подготовленных из серии индивидуальных, характеризующих соответствующий подгоризонт лесной подстилки в пределах исследуемого участка. Для приготовления смешанных образцов отобранные пробы подгоризон-

тов лесных подстилок доводили до воздушно-сухого состояния, измельчали, пропускали через сито диаметром 1 мм и смешивали в равных весовых количествах. Полученные показатели отражают усредненную величину, которая может значительно отличаться от реальных значений в единичных измерениях [29]. Содержание $\omega(C_{\text{общ}})$ и $\omega(N_{\text{общ}})$ определяли на CNHS-анализаторе EA 1110 (Carlo Erba, Италия) в соответствии с аттестованной методикой количественного химического анализа No 88-17641-94-2009. Относительная погрешность измерения общего углерода: $\pm\delta = 3.5\%$ при $\omega(C_{\text{общ}}) = 30.0\text{--}100.0\%$, общего азота: $\pm\delta = 11\%$ при

$\omega(N_{\text{общ}}) = 0.600\text{--}5.00\%^1$. Состав и концентрацию низкомолекулярных органических веществ, извлекаемых водной вытяжкой из смешанных образцов, определяли методом газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии (относительная погрешность измерения: $\pm \delta \leq 3\%$) при соотношении образец : вода 1 : 25 [32, 33, 34]. Интерпретацию масс-спектров соединений и их идентификацию проводили с использованием программного обеспечения Xcalibur Data System (version 1.4 SR1) и библиотеки масс-спектров NIST 05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика органогенных горизонтов почв вырубок. Органическое вещество почвы образуется из растительных остатков, химический состав и количество которых варьирует в зависимости от типа растительных сообществ, их видового разнообразия, условий минерализации и гумификации растительного опада. Общие закономерности формирования органогенных горизонтов почв (лесных подстилок) подчинены зональным биоклиматическим условиям [3], однако изменения в функционировании лесного биогеоценоза существенно отражаются на их физических и химических свойствах. В автоморфных условиях средней тайги под различными типами еловых лесов, как правило, формируются ферментативные и гумифицированные типы подстилок. Это свидетельствует об уменьшенной скорости трансформации растительного опада в данных биогеоценозах.

Лесная подстилка почвы коренного ельника чернично-зеленомошного (ПП-1) четко дифференцирована на три подгоризонта. В ней хорошо выражен подгоризонт О1, представленный различными фракциями слаборазложившегося растительного материала, а также подгоризонты ферментации (О2) и гумификации (О3), отличающиеся более глубокой степенью разложения растительных остатков. Основная масса подстилки коренного ельника представлена растительными остатками зеленых мхов, хвоей ели и пихты, а также листовыми пластинками березы, осины, рябины, черники. В годичном опаде древесного яруса на участке ПП-1 порядка 50% приходится на долю хвои ели и пихты, в то время как доля листовых пластинок мелколиственных пород не превышает 10% [14]. По полученным данным мощность подстилки коренного ельника, ее плотность и общие запасы в среднем составляют 4.8 ± 0.7 см, 0.091 ± 0.027 г/см³ и 5686 ± 1192 г/м² соответственно.

¹ Методика выполнения измерений содержания углерода и азота в твердых объектах методом газовой хроматографии, № 88-17641-94-2009 (ФР.1.31.2014.17663), с изменениями от 16.01.2014. Сыктывкар, 2009. 12 с.

Лесная подстилка елово-березового молодняка (ПП-2) близка по строению к почве коренного ельника. В ней также хорошо выражены подгоризонты О1, О2 и О3. Однако на данном участке в общей массе подстилки увеличивается доля политриховых мхов, что связано с увеличением влажности почвы в первые годы после проведения рубки. Значительный вклад в формирование лесной подстилки на данном участке вносят мелколиственные породы, годичный наземный опад листвы которых составляет свыше 60%, доля опада хвойных растений относительно участка коренного ельника значительно снижается [14]. Развитие политриховых мхов приводит к увеличению мощности подстилки до 8.3 ± 0.8 см, но в связи с менее плотным сложением растительных остатков (плотность подстилки 0.069 ± 0.015 г/см³) ее запасы несколько меньше и составляют 4860 ± 1099 г/м². Увеличению мощности лесных подстилок способствует снижение жизнедеятельности почвенного микробного комплекса и биохимической активности почв [6, 25, 26] в результате временного заболачивания.

На участке березняка разнотравного (ПП-3) горизонты лесной подстилки претерпевают значительные изменения. Это связано как со сменой видового состава древесного и напочвенного ярусов, так и с изменением гидрологического режима почв в процессе восстановления древостоя [19]. На данном участке хорошо диагностируются подгоризонты О1 и О2, в структуре которых общую массу составляют не остатки мхов, а листовые пластинки березы, осины и рябины, их часть среди годичного наземного опада древесного яруса составляет порядка 50%, на долю хвои ели и пихты приходится около 18.4% [14]. Подгоризонт гумификации О3, благодаря активной деятельности почвенных беспозвоночных, представляет собой очень рыхлую, органо-минеральную массу с хорошо разложившимися растительными остатками. Мощность подстилки на данном участке составляет 4.2 ± 0.5 см, плотность — 0.073 ± 0.019 г/см³, запасы — 3607 ± 673 г/м².

Общей закономерностью для лесных подстилок почв всех рассмотренных биоценозов является возрастание вниз по профилю кислотности (табл. 2). При этом лесные подстилки почв участков ПП-1 и ПП-2 по степени кислотности относятся к категории сильно- и очень сильнокислых почв. На участке ПП-3 верхние подгоризонты лесной подстилки (О1, О2) характеризуются как слабокислые, нижняя часть подстилки (О3) сохраняет сильнокислую реакцию среды.

По содержанию $C_{\text{общ}}$ и $N_{\text{общ}}$ лесные подстилки почв хронологического ряда вырубок соответствуют подзолистым почвам средней тайги [2]. Массовая доля $C_{\text{общ}}$ варьирует в пределах 30–48%, $N_{\text{общ}}$ — 1.4–2.1% (табл. 2). Величина отношения C/N (20–32) свидетельствует об очень низкой обогащенности

Таблица 2. Распределение углерода и азота органических соединений по подгоризонтам лесных подстилок в почвах ельника чернично-зеленомошного (ПП-1), молодого лиственно-елового сообщества (ПП-2) и спелого березняка разнотравного (ПП-3)

Участок, горизонт		pH_{H_2O}	$\omega(N_{общ}), \%$	$\omega(C_{общ}), \%$	C/N	Содержание углерода в водных вытяжках, $\omega(C_{ВОС}), \%$			$\omega(C_{ВОС_ид}),$ мг/кг
						ХВ	ГВ	ХВ/ГВ	
ПП-1	O1	4.46	1.65 ± 0.18	40.5 ± 1.4	24.5	12.1 ± 1.0	26.0 ± 2.0	2.1	72.4 ± 2.2
	O2	3.82	1.67 ± 0.18	42.8 ± 1.4	25.6	6.7 ± 0.5	20.2 ± 1.8	2.9	72.7 ± 2.2
	O3	3.65	1.42 ± 0.16	30.7 ± 1.1	21.6	5.6 ± 0.4	19.7 ± 1.6	3.6	28.8 ± 0.9
ПП-2	O1	3.90	1.60 ± 0.18	43.2 ± 1.5	27.0	11.4 ± 0.9	19.3 ± 1.5	1.7	32.6 ± 1.0
	O2	3.91	1.70 ± 0.19	45.6 ± 1.6	26.8	7.5 ± 0.6	20.0 ± 1.6	2.6	38.2 ± 1.1
	O3	3.58	1.44 ± 0.16	45.5 ± 1.6	31.6	5.1 ± 0.4	17.7 ± 1.4	3.5	25.9 ± 0.8
ПП-3	O1	5.73	1.86 ± 0.20	47.8 ± 1.7	25.7	10.5 ± 0.8	20.8 ± 1.6	2.0	106.9 ± 3.2
	O2	5.48	2.06 ± 0.23	47.2 ± 1.7	22.9	8.4 ± 0.7	22.1 ± 1.8	2.6	105.7 ± 3.2
	O3	4.46	1.94 ± 0.21	39.6 ± 1.4	20.4	9.6 ± 0.8	25.2 ± 2.0	2.7	106.4 ± 3.2

Примечание. ХВ — холодная вытяжка; ГВ — горячая вытяжка; $\omega(C_{ВОС_ид})$ — массовая доля углерода идентифицированных водорастворимых низкомолекулярных органических соединений.

ПОВ лесных подстилок коренного ельника и разновозрастных послерубочных сообществ азотом. Однако по данному показателю наибольшей обуглероженностью отличаются подгоризонты почвы молодой вырубki. Это может быть связано с заторможенностью микробиологических процессов на ранних этапах послерубочной сукцессии — в анаэробных условиях разложения органических остатков, и активным развитием в составе мохового яруса политриховых мхов.

Содержание и распределение углерода водорастворимых соединений в лесных подстилках. По содержанию $C_{ВОС}$ все почвы рассматриваемых участков в соответствии с градацией, предложенной в работе [23], относятся к категории почв со сверхвысоким содержанием ВОС. Доля углерода ВОС от $C_{общ}$ составляет 11–30%, что характерно для лесных почв [32]. Использование горячей вытяжки позволяет извлечь в 2.0–3.5 раза больше водорастворимых компонентов ПОВ из органогенных горизонтов коренного ельника и разновозрастных вырубок по сравнению с холодной. Увеличение с глубиной отношения $\omega(C_{ВОС})$, извлекаемых горячей вытяжкой, от $\omega(C_{ВОС})$, извлекаемых холодной вытяжкой, указывает на более высокую степень разложения органических остатков в подгоризонтах ферментации и гумификации [5]. Это в большей степени выражено на участках ПП-1 и ПП-2, где в составе лесных подстилок преобладают растительные остатки мхов.

Несмотря на различия в содержании $C_{общ}$ в лесных подстилках рассмотренных почв, в целом по показателям содержания углерода ВОС в подгоризонтах статистически достоверных различий между

участками не выявлено. При этом в почве коренного ельника (ПП-1) и молодой вырубki (ПП-2) наблюдается четко выраженное уменьшение $\omega(C_{ВОС})$, извлекаемых как холодной, так и горячей вытяжками вниз по профилю. На участке ПП-3 все подгоризонты лесной подстилки характеризуются близкими значениями $\omega(C_{ВОС})$ с минимумом содержания ВОС в подгоризонте ферментации. Это может быть обусловлено изменением как качественного и количественного состава опада, так и экологических условий функционирования почвенной микробиоты, с жизнедеятельностью которой связано продуцирование и утилизация компонентов ВОС.

Качественный и количественный состав водорастворимых органических соединений. Качественное и количественное определение различных водорастворимых соединений ПОВ во многом определяется методами их выделения и способом идентификации [14, 33]. Методы газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии позволили идентифицировать в составе водных вытяжек из почв рассмотренного хронологического ряда вырубок всего 25 индивидуальных низкомолекулярных ВОС. В силу технических возможностей этот метод позволяет определить лишь часть низкомолекулярных органических соединений, идентификация которых лимитирована техническими возможностями средств измерений. Однако их качественные и количественные характеристики дают возможность показать разницу между исследуемыми объектами [32, 34].

Идентифицированные низкомолекулярные компоненты ВОС относятся к трем группам орга-

нических соединений: низкомолекулярные органические кислоты, углеводы и спирты. Несмотря на то, что содержание углерода ВОС в подгоризонтах лесных подстилок почв коренного леса (ПП-1) и лиственно-хвойного молодняка (ПП-2) статистически значимо не различается, по концентрации идентифицированных низкомолекулярных ВОС выявлено их четкое различие. На участке ПП-2 в подгоризонтах О1 и О2 практически в 2 раза меньше содержание углерода идентифицированных ВОС ($C_{\text{ВОС_ид}}$) по сравнению с аналогичными подгоризонтами почвы участка ПП-1. В подгоризонте О3 участков ПП-1 и ПП-2 их содержание характеризуется близкими величинами 25.9–28.8 мг/кг. Эти особенности формирования ПОВ лесных подстилок подзолистых почв можно объяснить следующим. Во-первых, компоненты фракции ВОС чувствительны к переувлажнению [30], синтез и аккумуляция низкомолекулярных органических соединений преимущественно происходит в условиях переувлажнения почв. Во-вторых, в условиях пониженной активности микробиоты накапливаются аминокислоты и высокомолекулярные органические соединения типа фульвокислот, характеризующиеся хорошей растворимостью в водных средах, при снижении на этом фоне доли низкомолекулярных органических соединений водорастворимой фракции ПОВ.

Для лесной подстилки участка ПП-3 отмечен иной характер распределения содержания углерода идентифицированных компонентов ВОС по подгоризонтам. Во-первых, общее содержание $C_{\text{ВОС_ид}}$

практически не дифференцировано в профиле лесной подстилки участка ПП-3; во-вторых, общее количество идентифицированных компонентов в ней выше по сравнению с почвами участков ПП-1 и ПП-2 в 1.5–3.7 и 3.3–4.1 раза соответственно. По-видимому, смена доминирующих растительных сообществ, изменение качественного и количественного состава поступающих органических остатков, условий их минерализации и гумификации обуславливают не только снижение кислотности и обогащение ПОВ азотом, но и увеличение пула водорастворимых низкомолекулярных органических веществ, особенно в подгоризонтах О2 и О3, где происходит наиболее активная фаза трансформации ПОВ [1, 28, 31].

Основная часть идентифицированных компонентов ВОС представлена углеводами, что характерно для подзолистых почв средней тайги [34]. В составе углеводов преобладают гексозы (табл. 3). Общей закономерностью является увеличение доли гексоз вниз по профилю подстилок в почвах всех рассмотренных биоценозов. Отличительными особенностями почв ельника чернично-зеленомошного (ПП-1) и лиственно-елового молодняка (ПП-2) являются: (1) уменьшение доли пентоз в подгоризонтах ферментации; (2) возрастание доли дисахаридов в подгоризонте гумификации. В то время как на участке ПП-3 содержание пентоз находится примерно на одном уровне в подгоризонтах О1 и О2, а дисахариды равномерно распределены в профиле лесной подстилки.

Таблица 3. Доля углерода идентифицированных групп ВОС от общего углерода идентифицированных соединений в подгоризонтах лесных подстилок почв ельника чернично-зеленомошного (ПП-1), молодого лиственно-елового сообщества (ПП-2) и спелого березняка разнотравного (ПП-3), %

Идентифицированные группы соединений		ПП-1			ПП-2			ПП-3		
		О1	О2	О3	О1	О2	О3	О1	О2	О3
Кислоты	Незамещенные	0.19	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	1.56	0.55	0.53
	Замещенные	28.08	14.71	13.40	17.62	28.50	12.91	21.94	13.31	19.47
	Сумма	28.27	14.71	13.59	17.62	28.50	12.91	23.49	13.86	20.00
Углеводы	Пентозы	14.16	7.08	15.05	17.77	6.03	17.62	8.76	7.19	11.06
	Гексозы	39.55	59.90	52.49	45.17	40.38	57.32	49.25	48.06	54.37
	Дисахариды	1.09	9.34	12.62	0.49	0.22	7.68	4.34	5.85	4.50
	Сумма	54.80	76.32	80.16	63.39	46.63	82.62	62.34	61.09	69.92
Спирты	Глицерин	10.98	6.94	3.10	16.24	18.58	3.39	9.92	23.71	8.94
	Рибитол	4.15	1.22	1.64	1.69	3.32	0.76	2.08	0.54	0.51
	Инозитол	1.80	0.80	1.50	1.06	2.97	0.32	2.14	0.80	0.63
	Мио-инозитол	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
	Сумма	16.93	8.97	6.25	18.99	24.87	4.47	14.16	25.05	10.08

Распределение углерода низкомолекулярных органических кислот и спиртов различается в зависимости от участка. В коренном ельнике (ПП-1) максимальная доля идентифицированных кислот и спиртов отмечена в верхней части подстилки (О1), в то время как в подгоризонтах О2 и О3 их доля снижается практически в 2 раза. На участке ПП-2 выявлена максимальная аккумуляция этих соединений в подгоризонте ферментации. На участке ПП-3 распределение кислот и спиртов носит зеркальный характер — в подгоризонте О2 доля углерода идентифицированных низкомолекулярных органических кислот в 1.4–1.7 раза ниже по сравнению с О1 и О3, спиртов — в 1.8–2.5 раза ниже. Такие различия в составе низкомолекулярных органических компонентов, скорее всего, обусловлены спецификой жизнедеятельности зоомикробного комплекса, видовой состав и активность которого находятся в тесной взаимосвязи с изменениями окружающей среды [6, 22]. Таким образом, в лесных подстилках подзолистых почв, находящихся на стадии послерубочных сукцессий, подгоризонт ферментации является наиболее чувствительным к процессам синтеза и деструкции низкомолекулярных водорастворимых компонентов ПОВ.

Анализ состава низкомолекулярных органических кислот, идентифицированных при исследовании водных вытяжек лесных подстилок, показал, что в зависимости от давности проведения рубки и подгоризонта лесной подстилки, максимальная доля углерода ВОС приходится на яблочную, глицириновую, 2,3,4-тригидроксипропановую, рибионовую и гидроксипропановую кислоты (рис. 1). Аккумуляция этих кислот в горизонтах лесных подстилок — характерная черта как подзолистых почв хвойных лесов [32], так и почв вырубок. В нижней части подстилки почвы ненарушенного участка (ПП-1) наблюдается накопление таких кислот, как 3-гидроксимасляная, глицириновая, 2,3,4-тригидроксипропановая, 2-гидроксиуксусная, при снижении доли яблочной кислоты. В анаэробных условиях разложения растительных остатков на участке ПП-2 доля 2-гидроксиуксусной, 2-гидроксипропановой и рибионовой кислоты уменьшается при активном накоплении яблочной кислоты. В подгоризонтах лесной подстилки участка ПП-3 отмечено снижение яблочной и глицириновой кислот при повышении доли рибионовой кислоты. За счет большей однородности и степени разложенности лесной подстилки на участке ПП-3 содержание в ней 2-гидроксиуксусной и 2-гидроксипропановой кислот с глубиной не изменяется.

Для всех исследуемых подстилок основной вклад в состав сахаров вносит глюкоза (рис. 2). Для участков ПП-1 и ПП-2, в структуре органического вещества лесных подстилок которых преобладают остатки мхов и хвойный опад, отмечена высокая доля углерода галактопиранозы, а для участ-

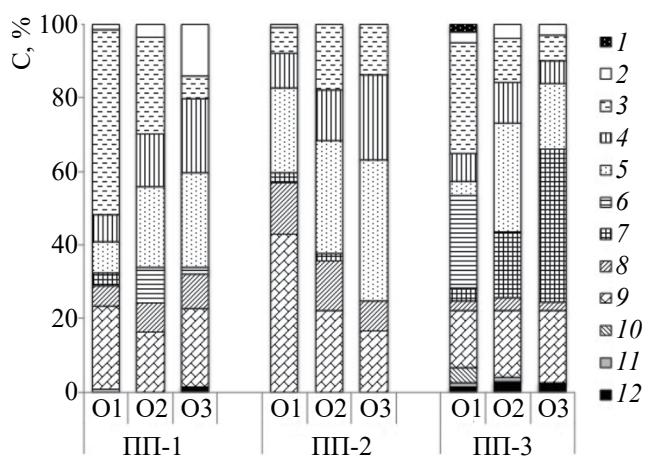


Рис. 1. Доля углерода идентифицированных кислот в составе водорастворимых соединений кислотной природы в подгоризонтах лесных подстилок почв ельника чернично-зеленомошного (ПП-1), лиственно-елового молодняка (ПП-2) и спелого березняка разнотравного (ПП-3): 1 — 3,4-диоксибензойная кислота, 2 — 3-гидроксимасляная кислота, 3 — яблочная кислота, 4 — глицириновая кислота, 5 — 2,3,4-тригидроксипропановая кислота, 6 — галактоновая кислота, 7 — рибионовая кислота, 8 — 2-гидроксиуксусная кислота, 9 — 2-гидроксипропановая кислота, 10 — валерьяновая кислота, 11 — гексационовая кислота, 12 — бутандионовая кислота.

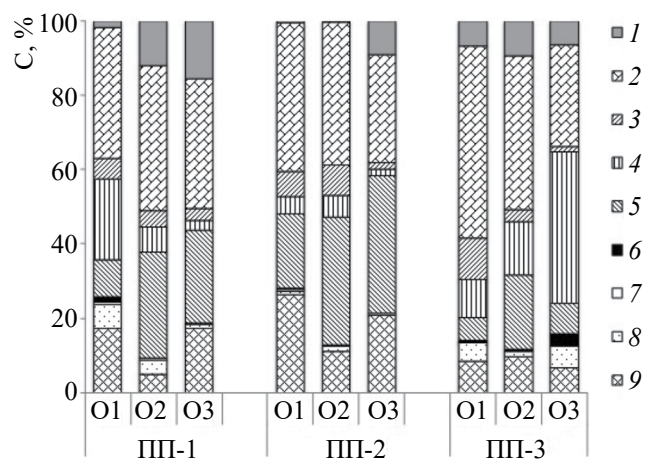


Рис. 2. Доля углерода идентифицированных углеводов в подгоризонтах лесных подстилок почв ельника чернично-зеленомошного (ПП-1), лиственно-елового молодняка (ПП-2) и спелого березняка разнотравного (ПП-3): 1 — сахароза, 2 — глюкоза, 3 — D-монопираноза, 4 — D-фруктоза, 5 — галактопираноза, 6 — D-риботураноза, 7 — D-рибофураноза, 8 — D-рибоза, 9 — арабиноза.

ка ПП-3 — D-фруктозы. В почве коренного ельника (ПП-1) вниз по профилю увеличивается доля углерода сахарозы при снижении глюкозы, D-манозы, D-фруктозы, D-монопиранозы, D-рибозы.

В лесной подстилке участка ПП-2 распределение содержания углерода D-монопиранозы и D-фруктозы идентично почве участка ПП-1, однако высокое содержание сахарозы отмечено в этом случае лишь в подгоризонте ОЗ. Для почвы спелого березняка разнотравного (ПП-3), сформировавшегося спустя 40 лет после рубки, выявлена тенденция уменьшения к нижней части лесной подстилки доли глюкозы и D-монопиранозы, при возрастании D-фруктозы. В относительно стабильных условиях функционирования почвенного зоомикробного комплекса (ПП-1 и ПП-3) в подгоризонте ферментации (О2) наблюдается более активное потребление арабинозы и снижение потребления галактопиранозы. На ранних стадиях послерубочной сукцессии (ПП-2) отмечена обратная закономерность.

Состав и содержание отдельных спиртов в почвах вырубок изменяются в широких пределах, особенно в подгоризонтах ферментации и гумификации. Глицерин менее подвержен микробиологическому разложению, его доля в лесных подстилках рассмотренных почв составляет от 50 до 96% от количества определяемых спиртов в целом. При этом в лесных подстилках почв участков ПП-1 и ПП-3 характер его распределения однотипен — максимум содержания глицерина приходится на подгоризонт О2. В почве участка ПП-3, находящемся на поздней стадии послерубочной сукцессии и характеризующемся существенным изменением экологических и экотопических условий, доля углерода инозитола и рибитола в подгоризонтах О2 и ОЗ минимальна — 5–10% от общего их количества. В лесной подстилке листовенно-хвойного сообщества (ПП-2), трансформация растительных остатков в которой осуществляется в условиях временного переувлажнения и подавления жизнедеятельности микробиоты, на их долю приходится до 15–25% от общего их количества. Следует отметить присутствие в верхней части лесной подстилки (О1) участка ПП-3 такого спирта, как мио-инозитол, который не был идентифицирован в остальных подгоризонтах и в почвах других исследованных участков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Восстановление древостоя через смену пород приводит к уменьшению запасов органического вещества в органогенных горизонтах почв, формирующихся в средневозрастных березово-еловых лесах, изменению их кислотно-основного состояния. Начальные этапы восстановления древесной растительности сопровождаются увеличением мощности лесной подстилки и ее обуглероженности. Давность проведения рубок и специфика напочвенного покрова оказывают значимое влияние на состав водорастворимых компонентов почвенного органического вещества и характер его распределения в

пределах подгоризонтов лесной подстилки (в ряду О1 → О2 → О3). Однако общее содержание углерода водорастворимых компонентов в лесных подстилках и отношение $\omega(C_{\text{ВОС}})$, извлекаемой горячей вытяжкой, от $\omega(C_{\text{ВОС}})$, извлекаемой холодной вытяжкой, идентично в почвах всех исследованных участков. Наиболее чувствительными компонентами идентифицированных водорастворимых органических соединений комплекса ВОС являются низкомолекулярные органические кислоты и спирты. Основной вклад в суммарное содержание идентифицированных компонентов комплекса ВОС вносят такие кислоты, как 2,3,4-тригидроксипантеновая, гидроксипропановая, яблочная; из группы сахаров — глюкоза, D-фруктоза, галактопираноза, арабиноза, из спиртов — глицерин. В структуре лесных подстилок наиболее уязвимым к изменению состава поступающего почвенного органического вещества и условий его разложения является подгоризонт ферментации О2.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (тема НИР № 122040600023-8).

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность И.В. Груздеву, В.В. Пунегову за помощь в проведении аналитических работ.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов Е.В. Накопление и трансформация органического вещества на разновозрастных отвалах песчаного карьера // Почвоведение. 2008. № 8. С. 955–963.
2. Атлас почв Республики Коми / Под ред. Добровольского Г.В. и др. Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2010. 355 с.
3. Богатырев Л.Г., Смагин А.В., Акишина М.М., Витязев В.Г. Географические аспекты функционирования лесных подстилок // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2013. № 1. С. 30–36.
4. Ваганов Е.А., Порфирьев Б.Н., Широков А.А., Колпаков А.Ю., Пыжжев А.И. Оценка вклада российских

- лесов в снижение рисков климатических изменений // Экономика региона. 2021. Т. 17. Вып. 4. С. 1096–1109.
<https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-4-4>
5. *Ведрова Э.Ф., Мухортова Л.В., Метелева М.К.* Трансформация органического вещества подстилки в лесных культурах // Лесоведение. 2018. № 1. С. 24–36.
<https://doi.org/10.7868/S0024114818010023>
 6. *Виноградова Ю.А., Лантева Е.М., Перминова Е.М., Анисимов С.С., Новаковский А.Б.* Микробные сообщества подзолистых почв на вырубках средне-таежных еловых лесов // Известия Самарского НЦ РАН. 2014. № 5. С. 74–80.
 7. Государственный доклад “О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2022 году”. Сыктывкар: Минприроды Республики Коми, 2023. 163 с.
 8. *Дубровина И.А., Мошкина Е.В., Туунен А.В., Генникова Н.В., Карпечко А.Ю., Медведева М.В.* Динамика свойств почв и экономические запасы углерода при различных типах землепользования (средняя тайга Карелии) // Почвоведение. 2022. № 9. С. 1112–1125.
<https://doi.org/10.31857/S0032180X22090052>
 9. *Дымов А.А.* Влияние сплошных рубок в бореальных лесах России на почвы (обзор) // Почвоведение. 2017. № 7. С. 787–798.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X17070024>
 10. *Дымов А.А., Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Ракина Д.А.* Растительный опад в коренном ельнике и лиственно-хвойных насаждениях // Лесной журнал. 2012. № 3. С. 7–18.
 11. *Дымов А.А., Милановский Е.Ю.* Изменение органического вещества таежных почв в процессе естественного лесовозобновления растительности после рубок (средняя тайга Республики Коми) // Почвоведение. 2014. № 1. С. 39–47.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X14010043>
 12. *Дымов А.А., Старцев В.В.* Изменение температурного режима подзолистых почв в процессе естественного лесовозобновления после сплошнолесосечных рубок // Почвоведение. 2016. № 5. С. 599–608.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X16050038>
 13. *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.
<https://doi.org/10.31509/2658-607x-202143-87>
 14. *Караванова Е.И.* Водорастворимые органические вещества: фракционный состав и возможности их сорбции твердой фазой лесных почв (обзор литературы) // Почвоведение. 2013. № 8. С. 924–936.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X13080042>
 15. *Караванова Е.И., Астайкина А.А.* Свойства водорастворимых органических веществ, выделенных из почв методами центрифугирования и вакуумной фильтрации // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2022. № 1. С. 26–33.
 16. *Караванова Е.И., Одинцов П.Е., Степанов А.А.* Закономерности минерализации органических веществ почвенных растворов подзолистой почвы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2019. № 3. С. 3–10.
 17. *Карпунин А.И., Яшин И.М., Черников В.А.* Формирование и миграция комплексов водорастворимых органических веществ с ионами тяжелых металлов в таежных ландшафтах Европейского Севера // Известия ТСХА. 1993. № 2. С. 107–126.
 18. *Лантева Е.М., Бондаренко Н.Н.* Изменение гумусного состояния среднетаежных подзолистых почв под влиянием сплошнолесосечных рубок // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 1. С. 34–43.
<https://doi.org/10.25750/1995-4301-2015-1-034-043>
 19. *Лантева Е.М., Втюрин Г.М., Бобкова К.С., Каверин Д.А., Дымов А.А., Симонов Г.А.* Изменение почв и почвенного покрова еловых лесов после сплошнолесосечных рубок // Сибирский лесной журнал. 2015. № 5. С. 64–76.
<https://doi.org/10.15372/SJFS20150505>
 20. *Лиханова Н.В.* Роль растительного опада в формировании подстилки на вырубках ельников средней тайги // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2014. № 3. С. 50–66.
 21. *Лиханова И.А., Перминова Е.М., Шушпанникова Г.С., Железнова Г.В., Пыстина Т.Н., Холопов Ю.В.* Динамика растительности после сплошнолесосечных рубок ельников черничных (среднетаежная подзона европейского северо-востока России) // Растительность России. 2021. № 40. С. 108–136.
<https://doi.org/10.31111/vegrus/2021.40.108>
 22. *Масютенко Н.П.* Трансформация органического вещества в черноземных почвах ЦЧР и система его воспроизводства. М.: Россельхозакадемия, 2012. 150 с.
 23. *Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С.* Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918–926.
 24. *Осипов А.Ф., Тужилкина В.В., Дымов А.А., Бобкова К.С.* Запасы фитомассы и органического углерода среднетаежных лесов ельников при восстановлении после сплошнолесосечной рубки // Известия РАН. Сер. биологическая. 2019. № 2. С. 215–224.
<https://doi.org/10.1134/S00023232919020103>
 25. *Перминова Е.М., Бондаренко Н.Н., Щемелинина Т.Н., Лантева Е.М.* Биохимическая активность подзолистых почв на вырубках среднетаежных еловых лесов // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 1. С. 56–66.
<https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-1-056-066>
 26. *Перминова Е.М., Виноградова Ю.А., Щемелинина Т.Н., Лантева Е.М.* Каталазная активность

- подзолистых почв и ее изменение при естественном лесовосстановлении на вырубках среднетаежных лесов // Известия Самарского НЦ РАН. 2016. Т. 18. № 1. С. 27–33.
27. Путеводитель научной почвенной экскурсии. Подзолистые суглинистые почвы разновозрастных вырубков (подзона средней тайги). Сыктывкар, 2007. 84 с.
28. Семёнов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
29. Соколова Т.А. Низкомолекулярные органические кислоты в почвах: источники, состав, содержание, функции в почвах (обзор) // Почвоведение. 2020. № 5. С. 559–575.
<https://doi.org/10.31857/s0032180x20050159>
30. Тулина А.С., Семенов В.М. Оценка чувствительности минерализуемого пула почвенного органического вещества к изменению температуры и влажности // Почвоведение. 2015. № 8. С. 952–962.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X15080109>
31. Чупрова В.В., Жукова И.В. Водорастворимое органическое вещество в почвах склонового агроландшафта Красноярской лесостепи // Вестник КрасГАУ. 2017. № 9. С. 140–149.
<https://sciup.org/140224274>
32. Шамрикова Е.В. Кислотность почв таежной и тундровой зон Европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 2013. 153 с.
33. Шамрикова Е.В., Груздев И.В., Пунегов В.В., Ванчикова Е.В., Ветошкина А.А. Качественный анализ водных вытяжек из подзолистых почв Республики Коми на содержание органических соединений хромато-масс-спектроскопическим методом // Вода: химия и экология. 2011. № 11. С. 58–63.
34. Шамрикова Е.В., Кубик О.С., Денева С.В., Пунегов В.В. Состав водорастворимой фракции почв побережья Баренцева моря: органический углерод и азот, низкомолекулярные компоненты // Почвоведение. 2019. № 11. С. 1322–1338.
<https://doi.org/10.1134/S0032180X19110108>
35. Яшин И.М., Атенбеков Р.А., Черноков В.А., Васнев И.И. Экологическая роль водорастворимых органических веществ в гумусообразовании и миграции в почвах таежно-лесной зоны // Известия ТСХА. 2018. № 4. С. 32–45.
36. Chen Yong-liang, Guo Yu-qiang, Han Shi-jie, Zou Chun-Yu-mei, Cheng Guo-ling. Effect of root derived organic acids on the activation of nutrients in the rhizosphere soil // J. Forest. Res. 2002. V. 13(2). P. 115–118.
37. Falsone G., Celi L., Caimi A., Simonov G., Bonifacio E. The effect of clear cutting on podzolisation and soil carbon dynamics in boreal forests (Middle Taiga zone, Russia) // Geoderma. 2012. V. 177–178. P. 27–38.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.01.036>
38. Gmach M.R., Cherubin M.R., Kaiser K., Cerri C.E.P. Processes that influence dissolved organic matter in the soil: a review // Scientia Agricola. 2020. V. 77.
<https://doi.org/10.1590/1678-992x-2018-0164>
39. Kaiser K., Kaupenjohann M., Zech W. Sorption of dissolved organic carbon in soil: effects of soil sample storage, soil-to-solution ratio, and temperature // Geoderma. 2001. V. 99. P. 317–328.
40. Kalbitz K., Solinger S., Park J.-H., Michalzik B., Matzner E. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review // Soil Science. 2000. V. 165(4). P. 277–304.
<https://doi.org/10.1097/00010694-200004000-00001>
41. McCarthy J.F. Carbon fluxes in soil: long term sequestration in deeper soil horizons // J. of Geographical Sci. 2005. V. 15(2). P. 149–154.
<https://doi.org/10.1007/BF02872680>
42. Merilä P., Malmivaara-Lämsä M., Spetz P., Stark S., Vierikko K., Derome J., Fritze H. Soil organic matter quality as a link between microbial community structure and vegetation composition along a successional gradient in a boreal forest // Appl. Soil Ecology. 2010. V. 46(2). P. 259–267.
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.08.003>
43. Nave L.E., Vance E.D., Swanston C.W., Curtis P.S. Harvest impact on soil carbon storage in temperate forest // Forest Ecology Management. 2010. V. 259. P. 857–866.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.12.009>
44. Qiming L., Shijie W., Hechun P., Ziyuan O. The variation of soil organic matter in a forest-cultivation sequence traced by stable carbon isotopes // Chin. J. Geochem.. 2003. V. 22(1). P. 83–88.
<https://doi.org/10.1007/BF02831548>
45. Rizinjirabake F., Tenenbaum D., Pilesjo P. Data for assessment of soil water extractable and percolation water dissolved organic carbon in watersheds // Data in Brief. 2019. V. 27(1). P. 104779.
<https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104779>
46. Scharlemann J.P., Tanner E.V., Hiederer R., Kapos V. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool // Carbon Manage. 2014. V. 5. P. 81–91.
<https://doi.org/10.4155/cmt.13.77>
47. Strobel B.W. Influence of vegetation on low-molecular-weight carboxylic acids in soil solution – a review // Geoderma. 2001. V. 99. P. 169–198.
[https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(00\)00102-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00102-6)
48. Szymanski W. Quantity and chemistry of water-extractable organic matter in surface horizons of Arctic soils under different types of tundra vegetation – A case study from the Fuglebergsletta coastal plain (SW Spitsbergen) // Geoderma. 2017. V. 305. P. 30–39.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.05.038>
49. Uroz S., Buee M., Deveau A., Mieszkina S., Martin F. Ecology of the forest microbiome: Highlights of temperate and boreal ecosystems // Soil Biol. Biochem. 2016. V. 103. P. 471–488.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.09.006>
50. Zsolnay A. Dissolved organic matter: artefacts, definitions and functions // Geoderma. 2003. V. 113. P. 187–209.
[https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00361-0](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00361-0)

Water-Soluble Components of Soil Organic Matter of Forest Litter in Podzolic Soils of Chronological Series of Cuttings

N. N. Bondarenko¹, E. M. Lapteva¹, E. V. Kyzurova¹, and E. M. Perminova¹

¹*Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, 167982 Russia*

**e-mail: BondNikropolNik@mail.ru*

The composition of water extracts and distribution of low-molecular-weight water-soluble organic compounds (WOC) in forest litter of native bilberry-green-moss spruce forest (TP-1) and deciduous-coniferous biocenoses of 12 (TP-2) and 43 years (TP-3), formed after clear-cut logging (middle taiga subzone, the Komi Republic) were studied using a high-temperature catalytic oxidation methods (the TOC-VCPH total carbon analyzer), gas chromatography and chromatography-mass spectrometry. It was found that forest litter on the plots TP-1 and TP-2 is characterized by a similar composition of plant residues (coniferous litter, moss destruction products). They have similar pH values of water extracts, total nitrogen (N_{tot}) and carbon content of water-soluble compounds (C_{WSC}). The Plot TP-3 differs in composition and morphology of forest litter represented by birch and aspen leaf litter of different decomposition stages, which is reflected in an increase in the content of total carbon (C_{tot}), N_{tot} , C_{WSC} , as well as a decrease in the acidity. The complex of identified LMWOC is represented by 25 compounds as 12 carboxylic acids, 9 carbohydrates, 4 alcohols. The main contribution to their composition is made by carbohydrates (hexoses). For forest litter in soils of felling sites (TP-2, TP-3), an increase in the proportion of alcohols, especially in the fermentation sub-horizon (O2), and a decrease in the proportion of sugars were observed. In the native spruce forest (TP-1), there is a well-defined tendency for the share of acids and alcohols to decrease downward the litter (in sequence O1→O2→O3), while the share of sugars increases.

Keywords: middle taiga, clearcuttings, podzolic soils, water-soluble organic compounds, low molecular weight organic acids, carbohydrates, alcohols