

УДК 631.425.4

СОДЕРЖАНИЕ И СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

© 2020 г. В. В. Старцев^а *, А. С. Мазур^б, А. А. Дымов^а^аИнститут биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
ул. Коммунистическая, 28, Республика Коми, Сыктывкар, 167982 Россия^бСанкт-Петербургский государственный университет,
Университетский пр-т, 26, Санкт-Петербург, Ленинградская область, 198504 Россия

*e-mail: vik.startsev@gmail.com

Поступила в редакцию 27.02.2020 г.

После доработки 13.04.2020 г.

Принята к публикации 27.04.2020 г.

Почвенное органическое вещество (ПОВ) высоких широт является важным и чувствительным индикатором климатических изменений. Рассмотрены основные морфологические свойства и химические характеристики ПОВ основных типов почв в высотном-поясном градиенте Приполярного Урала. Исследованы почвы, формирующиеся в горно-тундровом (подбур глееватый иллювиально-гумусовый/Skeletal Stagnic Entic Podzol (Turbic)), подгольцовом (серогумусовая/Skeletal Umbrisol), горно-лесном (подзол иллювиально-железистый/Skeletal Albic Podzol) поясах и горно-тундровом с подстиланием многолетнемерзлых пород (подбур иллювиально-гумусовый глееватый мерзлотный/Skeletal Follic Cryosol (Humic)). Применен метод денсиметрического фракционирования, позволяющий выделить три фракции ПОВ, отличающиеся по активности участия углерода в биологическом круговороте: фракцию свободного органического вещества ($COB_{<1.6}$), фракцию окклюдированного органического вещества ($OOB_{<1.6}$) и тяжелую фракцию, связанную с минеральной матрицей ($TF_{>1.6}$). В результате выявлено преобладание тяжелой фракции в верхних минеральных горизонтах $TF_{>1.6}$ (89–93%). Содержание легких фракций значительно меньше (0.6–4.7%). Выявлена тенденция к зависимости содержания органического углерода в почве С и азота N от доли легких фракций $COB_{<1.6}$ ($r = 0.40$ и $r = 0.79$, $p < 0.05$) и $OOB_{<1.6}$ ($r = 0.68$ и $r = 0.83$, $p < 0.05$). В составе ПОВ денсиметрических фракций преобладают алифатические фрагменты: $COB_{<1.6}$ (74.5–80.5%) и $OOB_{<1.6}$ (77.9–84.2%). Выявлено, что органическое вещество фракции $OOB_{<1.6}$ имеет более высокую степень разложения (0.4–2.4).

Ключевые слова: пулы углерода, фракционирование, криолитозона, ^{13}C -ЯМР, Podzols, Umbrisol, Cryosol

DOI: 10.31857/S0032180X20120114

ВВЕДЕНИЕ

Почва – уникальное природное образование, играющее важную роль в устойчивом функционировании наземных экосистем и биосферы в целом. Почвенное органическое вещество (ПОВ) участвует в реализации почвами основных биосферных функций, является резервуаром элементов питания для растений, служит источником и стоком “парниковых” газов [44]. Органическое вещество северных районов представляет собой уязвимый источник углерода [25, 45] и характеризуется как один из наиболее чувствительных компонентов почв высоких широт к климатическим изменениям. Приполярный Урал – уникальная территория – является южным пределом распространения криолитозоны на европейском северо-востоке России, почвы которой формируются в

контрастных геоморфологических, микроклиматических, гидрологических условиях [4, 13], определяющих различия интенсивности гумусонакопления и передвижения веществ по профилю почв, что отражается в их морфологических, химических характеристиках и особенностях почвенного органического вещества. Качество и количество органического вещества в почве является важной характеристикой, отражающей особенности почвообразования для конкретных климатических условий и типов почв.

В настоящее время в исследованиях состава и структуры ПОВ большое внимание уделяется выделению значимых составляющих органического вещества, обладающих характерными свойствами [24, 29, 48]. Поэтому определение комплекса показателей состава ПОВ является актуальной

задачей современного почвоведения. Денсиметрическое фракционирование способствует выделению фракций, различающихся по активности участия углерода в биологическом цикле и времени пребывания в почве, а ЯМР-спектроскопия позволяет оценить основные тенденции стабилизации ПОВ. Анализ литературы показал, что молекулярный состав органического вещества почв равнинных территорий, в том числе криогенных, детально изучен [6, 7, 15, 22, 39, 51], в то время как исследования ПОВ в горных ландшафтах носят единичный характер [24, 46, 47].

Цель работы – оценить состав органического вещества денсиметрических фракций почв Приполярного Урала.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования стали почвы, формирующиеся в горно-лесном, подгольцовом и горно-тундровом поясах Приполярного Урала. Район исследования относится к северной части национального парка “Югыд ва”. В соответствии с почвенно-географическим районированием территория Приполярного Урала относится к округу горно-тундровых и горно-лесных глееподзолистых потечно-гумусовых почв [3]. Регион характеризуется областью редкоостровного распространения многолетнемерзлых пород (ММП) мощностью до 10–15 м [8]. Почвы региона относятся к очень холодному подтипу длительно сезонно-промерзающего типа [2].

Диагностику и классификационное положение почв проводили в соответствии с полевым определителем почв России [9] и системе классификации WRB [30]. Основные физико-химические свойства почв определяли в ЦКП “Хроматография” Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Содержание углерода и азота исследовали на элементном анализаторе EA-1110 (Carlo Erba, Италия).

Для изучения ПОВ использовали метод денсиметрического фракционирования, позволяющий выделить различные пулы органического вещества. В результате анализа выделили три фракции ПОВ: свободное ОВ ($COV_{<1.6}$), окклюдированное-внутриагрегатное ОВ ($OOV_{<1.6}$) и связанное с минеральной матрицей $T\Phi_{>1.6}$. Фракционирование почв осуществляли раствором поливольфрамата натрия (SPT0) согласно методическим разработкам [20, 24]. Фракцию свободного органического вещества ($COV_{<1.6}$) отделяли раствором с плотностью 1.60 ± 0.03 г/см³. Фракцию окклюдированного органического вещества ($OOV_{<1.6}$) отделяли раствором с той же плотностью, после обработки ультразвуком мощностью 150 Дж/см³ в той же навеске почвы. Тяжелая фракция представляет ПОВ плотностью более 1.6 ± 0.03 г/см³.

¹³C-ЯМР воздушно-сухих денсиметрических фракций регистрировали на спектрометре Bruker Avance III 400WB (Bruker, Германия) с рабочей частотой 100.53 МГц с использованием твердофазной методики CP-MAS (кросс-поляризация с вращением под “магическим” углом) в ресурсном центре научных исследований “Магнитно-резонансные методы исследований” Санкт-Петербургского государственного университета. Частота вращения образца – 12.5 кГц, время контакта – 2 мс, время релаксации – 2 с. Химические сдвиги представлены относительно тетраметилсилана со сдвигом 0 м.д., в качестве стандарта использовали пик адамантана. Предварительно образцы обрабатывали 10%-ной плавиковой кислотой для удаления парамагнитных примесей изотопов железа, согласно [26]. Для количественной обработки применяли численное интегрирование по областям, соответствующим расположению функциональных групп и молекулярных фрагментов, с использованием программы TopSpin 3.2 (Bruker, Германия). Используются интервалы интегрирования, согласно [1, 38, 40]: 0–45 – незамещенные алкилы (алифатические фрагменты –CH₂– и CH₃-группы) ($C_{Alk-H(R)}$); 45–60 – метоксильные и O,N-замещенные алифатические фрагменты (C_{CH_3-O}); 60–95 – O-алкил замещенные алифатические фрагменты (C_{Alk-O}); 95–110 – ди-O,N-алифатические фрагменты дважды замещенные гетероатомами ($C_{O-Alk-O}$); 110–145 – незамещенные или алкил-замещенные ароматические структуры ($C_{Ar-H(C)}$); 145–165 – O-замещенные (фенольные) ароматические фрагменты (O-арилы) ($C_{Ar-O,N}$); 165–185 – карбоксильные группы ($C_{COOH(R)}$); 185–220 – карбонилы альдегидов и кетонов ($C_{C=O}$).

Содержания ароматических структур (Ar) определяли по сумме площадей сигналов при 110–145 и 145–165 м.д., алифатических составляющих (Al) – по сумме 0–110, 165–185 и 185–220 м.д. Степень разложения органического вещества оценивали по соотношению алкил (0–45 м.д.) : O,N-алкил (45–110 м.д.). Степень ароматичности (fa) определяли как суммарное содержание ароматических компонентов ($C_{Ar-H,C}$ и $C_{Ar-O,N}$). Показатель гидрофобности (Hb) рассчитывали по сумме сигналов 0–45 и 110–145 м.д.

Полученные результаты статистически проанализированы с использованием Microsoft Excel 2010 и Statistica 10.0. Для характеристики корреляционных связей между полученными данными использовали дисперсионный анализ при уровне значимости $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Физико-химические свойства почв. Распределение почв горных территорий обусловлено их принадлежностью к определенному высотному

растительному поясу. Для Приполярного Урала выделяют горно-тундровый, подгольцовый и горно-лесной высотные растительные пояса [12]. Растительность горно-тундрового пояса представляет собой кустарничково-лишайниковые тундровые ассоциации (*Betula nana* L., *Carex arctisibirica* (Jurtz.), *Cladonia* sp.), формирующие под влиянием криогенного фактора бугорковато-пятнистый и полигональный микрорельеф. В данных условиях формируется подбур глееватый иллювиально-гумусовый/Skeletal Stagnic Entic Podzol (Turbic), который является типичным представителем почв горно-тундрового пояса горных регионов [5]. Подгольцовый пояс Приполярного Урала располагается выше линии леса с нижней границей распространения на высоте 500 м над ур. м. на пологих склонах южной, реже восточной экспозиций [12]. Растительный пояс представлен разнотравными луговинами, которые занимают незначительные пространства, где основную фитоценологическую роль играют злаки и разнотравье [14]. В данном случае – аконитовый луг (*Aconitum septentrionale*, *Calamagrostis purpurea*, *Chamaenerion angustifolium*, *Solidago virgaurea*), в котором развивается серогумусовая почва/Skeletal Umbrisol. Лесные сообщества характеризуются преобладанием лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), которая определяет растительный покров горно-лесного пояса западного макросклона Приполярного Урала [17]. Исследуемый подзол иллювиально-железистый/Skeletal Albic Podzol формируется в лиственничнике кустарничково-зеленомошном (*Larix sibirica* L., *Betula nana* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum commune*). Кроме этого, на Приполярном Урале формируются почвы, характеризующиеся близким подстилением многолетнемерзлыми породами (ММП). Мерзлотные почвы горных районов составляют около 12% по всему миру. Эти почвы формируются при среднегодовой температуре воздуха -5°C и характеризуются наличием ММП в пределах 1–2 м от поверхности. На Приполярном Урале под ерничково-лишайниковой тундрой (*Betula nana* L., *Salix glauca*, *Carex arctisibirica*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Pleurozium schreberi*, *Aulacomium turgidum*) развивается подбур иллювиально-гумусовый глееватый мерзлотный/Skeletal Follic Cryosol (Humic).

Химические показатели исследованных почв представлены в табл. 1. Показатели кислотности исследованных почв варьируют от сильнокислых для органогенных горизонтов до близких к нейтральным значениям для минеральных. Наибольшей кислотностью характеризуется подзол иллювиально-железистый (рН 3.7–4.8). Сергумусовая почва (рН 5.1–5.6) и подбуры горно-тундрового пояса (рН 4.5–5.7) менее кислые. Наибольшие значения по содержанию обменных катионов кальция (Ca^{2+}) и магния (Mg^{2+}), углерода и азота выявлены для органогенных горизонтов. Наи-

меньшей степени насыщенности основаниями характеризуется подзол иллювиально-железистый (9–15%). Для серогумусовой почвы выявлено некоторое увеличение насыщенности основаниями в горизонте АУ (61%). Известно, что разнотравные сообщества способствуют высокой степени насыщенности основаниями и содержанию органического вещества. Подбур глееватый иллювиально-гумусовый характеризуется высокой насыщенностью основаниями в минеральных горизонтах (до 67%). В подбуре иллювиально-гумусовом мерзлотном насыщенность основаниями плавно уменьшается по профилю (45–11%). Содержание дитионито- и оксалаторастворимых форм железа и алюминия носит равномерно аккумулятивный характер распределения по профилю подбура глееватого. В серогумусовой почве выявлено элювиально-иллювиальное распределение соединений железа и алюминия при увеличении их содержания в верхних серогумусовых горизонтах. Для подзола иллювиально-железистого наблюдается типичное обеднение подзолистого горизонта соединениями железа и алюминия и накопление их в иллювиальном горизонте. В подбуре иллювиально-гумусовом мерзлотном выявлена надмерзлотная аккумуляция соединений железа. Содержание углерода и азота носит регрессивно аккумулятивное распределение по профилям исследуемых почв. Максимальные концентрации углерода в верхнем минеральном горизонте выявлены для подбура глееватого – 8.0%, органогенный горизонт которого имеет широкие значения отношения С/Н (30–46), в минеральных – 14–17. В серогумусовой почве содержится 5.6% углерода в горизонте АУ. Наименьшим показателем углерода верхнего горизонта характеризуется подзол иллювиально-железистый – 1.3%. Для лесной подстилки характерно широкое отношение С/Н (31), что свидетельствует о слабом разложении компонентов растительного опада [50]. В минеральных горизонтах показатель варьирует от 11 до 18. Высокий показатель содержания углерода в горизонте ВН выявлен для подбура иллювиально-гумусового мерзлотного (5.9%). Вероятно, суровый климат Приполярного Урала способствует низкой биологической активности почв, что приводит к сохранению органического вещества в минеральных горизонтах.

Почвенное органическое вещество. Денсиметрическое (физическое) фракционирование ПОВ оказывает менее разрушительное воздействие на почвы, чем процедура химического разделения. Вероятно, что выделенные фракции представляют собой самостоятельные пулы ПОВ [11], которые непосредственно влияют на почвенную структуру и функции ПОВ *in situ* [21]. Для изучения ПОВ методом денсиметрического фракционирования были исследованы верхние минеральные горизонты.

Анализ полученных денсиметрических фракций почв показал, что основу ПОВ составляет тяжелая

Таблица 1. Физико-химические свойства исследованных почв

Горизонт	Глубина, см	pH	Hr	Ca ²⁺	Mg ²⁺	V	C	N	C/N	Fe _{dith}	Fe _{ox}	Al _{ox}
				соль(экв)/кг, ±Δ						% , ±Δ		
Подбур глееватый иллювиально-гумусовый												
O (L)	0–3	4.5	43	16.1 ± 1.2	3.41 ± 0.26	31	41.0 ± 1.3	1.05 ± 0.19	46		Не опр.	
O (F)	3–7(10)	5.0	35	27.5 ± 2.1	2.71 ± 0.20	46	29.3 ± 0.9	1.15 ± 0.21	30		»	
ВН	7(10)–20(30)	5.4	10	18.7 ± 1.4	1.41 ± 0.14	67	8.0 ± 1.4	0.55 ± 0.10	17	1.14	1.00 ± 0.15	0.6 ± 0.14
BG	20(30)–50	5.7	5	7.0 ± 0.5	0.87 ± 0.09	60	1.3 ± 0.2	0.11 ± 0.02	14	1.17	0.81 ± 0.12	0.5 ± 0.12
Серогумусовая почва												
O	0–5	5.6	30	38.7 ± 2.9	1.78 ± 0.18	57	38.6 ± 1.2	1.70 ± 0.30	26		Не опр.	
AУ	5–10	5.1	11	15.4 ± 1.2	0.83 ± 0.08	61	5.6 ± 1.0	0.67 ± 0.12	10	0.92	0.66 ± 0.10	0.4 ± 0.10
AB	10–25	5.3	8	5.5 ± 0.4	0.31 ± 0.03	42	1.9 ± 0.3	0.28 ± 0.05	8	1.31	0.85 ± 0.13	0.42 ± 0.10
BC	25–40	5.5	5	7.0 ± 0.5	0.45 ± 0.05	58	2.5 ± 0.4	0.39 ± 0.07	7	1.01	0.63 ± 0.09	0.39 ± 0.09
C	40–60	5.6	5	4.4 ± 0.3	0.240 ± 0.020	51	0.7 ± 0.1	0.21 ± 0.04	4	0.85	0.39 ± 0.09	0.32 ± 0.08
Подзол иллювиально-железистый												
O	0–10	3.7	83	6.0 ± 0.4	2.32 ± 0.17	9	40.7 ± 1.3	1.52 ± 0.28	31		Не опр.	
E	10–22	4.4	8	0.76 ± 0.12	0.16 ± 0.03	10	1.3 ± 0.23	0.10 ± 0.02	15	0.81	0.36 ± 0.09	0.19 ± 0.05
BF	22–40	4.6	7	0.48 ± 0.08	0.17 ± 0.03	9	0.8 ± 0.2	0.06 ± 0.01	14	1.66	0.90 ± 0.14	0.40 ± 0.10
BCg	40–60	4.8	5	0.67 ± 0.11	0.16 ± 0.03	15	0.5 ± 0.1	0.05 ± 0.01	11	0.91	0.37 ± 0.09	0.26 ± 0.06
Подбур иллювиально-гумусовый глееватый мерзлотный												
O (L)	0–5	4.9	38	23.3 ± 1.7	7.4 ± 0.6	45	42.3 ± 1.4	1.00 ± 0.18	49		Не опр.	
O (F + H)	5–10(13)	5.4	38	20.3 ± 1.5	4.1 ± 0.3	39	29.4 ± 0.9	1.22 ± 0.22	28		»	
ВН	10(13)–20	5.1	16	5.8 ± 0.4	1.31 ± 0.13	31	5.9 ± 1.1	0.49 ± 0.08	14	2.34	0.99 ± 0.15	0.41 ± 0.10
BFg ⁺	20–40(45)	5.0	15	1.40 ± 0.13	0.38 ± 0.04	11	4.3 ± 0.8	0.32 ± 0.06	16	2.89	1.94 ± 0.29	0.30 ± 0.07

Примечание. Hr – гидролитическая кислотность, V – степень насыщенности основаниями.

Таблица 2. Характеристика денсиметрических фракций

Горизонт	СОВ _{<1.6}			ООВ _{<1.6}			ТФ _{>1.6}		
	мас. %	С, %	С/N	мас. %	С, %	С/N	мас. %	С, %	С/N
Подбур глееватый иллювиально-гумусовый									
ВН	1.9	36.0	32	1.3	42.0	30	92.6	7.8	15
Серогумусовая почва									
АУ	4.7	20.9	18	1.8	34.3	22	89.9	0.40	10
Подзол иллювиально-железистый									
Е	1.0	26.9	38	0.6	37.0	80	93.2	0.73	11
Подбур иллювиально-гумусовый глееватый мерзлотный									
ВН	3.0	31.5	29	1.8	40.9	32	92.4	4.7	14

минерально-связанная фракция ТФ_{>1.6}, фракции свободного и окклюдированного органического вещества составляют меньшие доли, что отмечают другие исследователи [28, 41]. Характеристики выделенных денсиметрических фракций представлены в табл. 2. В серогумусовой почве выявлено наименьшее содержание фракции ТФ_{>1.6} – 89%. В подбуре иллювиально-гумусовой, подзоле иллювиально-железистой и мерзлотном подбуре содержание тяжелой фракции несколько выше и варьирует от 92 до 93%.

Доля легких фракций в почвах значительно меньше. Минимальные показатели выявлены для подзола иллювиально-железистого, формирующегося в горно-лесном поясе. В подзолистом горизонте Е содержание легких фракций свободного и окклюдированного ПОВ составляет 1.6%. В почве горно-тундрового пояса сумма легких фракций равна 3.2%. Подбур иллювиально-гумусовый мерзлотный содержит 4.8% легких фракций. Высокие доли легких фракций в верхних минеральных горизонтах почв горно-тундрового пояса обусловлены рядом факторов: значительный объем обломков горных пород в профиле, пучение льдистой мерзлоты, которые способствуют перемешиванию верхнего минерального горизонта с нижней частью подстилки и проникновению растительных остатков вниз по профилю, низкие температуры почв [23]. Максимальные доли легких фракций были получены для серогумусового горизонта АУ почвы подгольцового пояса. Содержание фракции свободного органического вещества составляет 4.7%, фракции окклюдированного ООВ_{<1.6} – 1.8%. В разнотравных растительных сообществах подземные органы растений доминируют по биомассе и обуславливают внутрипочвенное поступление органического вещества в минеральные горизонты. Всего доля легких фракций в верхнем минеральном горизонте серогумусовой почвы 6.5%, что в 1.5–2 раза больше, чем в верхних горизонтах почв других высотных поясов.

В целом для верхних минеральных горизонтов почв выявлено преобладание тяжелой фракции. Среди легких фракций большим содержанием характеризуется первая фракция свободного органического вещества СОВ_{<1.6}, представленная и остатками трав и кустарничков, практически не утративших своего анатомического строения, которые благодаря низким температурам, долго сохраняются и практически не подвергаются трансформации [24]. В отличие от фракции ООВ_{<1.6}, где хорошо разложившиеся растительные остатки окружены минеральными частицами, защищающими и способствующими долгой консервации органического вещества [52].

Содержание углерода и С/N во фракциях носит обратный характер. Минимальные концентрации выявлены для органо-минеральной фракции ТФ_{>1.6}, которые не превышают 7.8%. Максимальные – для легких фракций органического вещества. Концентрация углерода легких фракций СОВ_{<1.6} варьирует от 20.9 (серогумусовая) до 36.0% (подбур глееватый иллювиально-гумусовый). Для фракции окклюдированного органического вещества ООВ_{<1.6} выявлены максимальные концентрации органического углерода, превышающие таковые во фракции СОВ_{<1.6}. Содержание углерода в них составляет от 34.5 до 42.0%. Наиболее узкими значениями отношения С/N (от 11 до 15) характеризуются тяжелые фракции, что говорит о высокой степени минерализации ПОВ. Отношение углерода к азоту для легких фракций свидетельствует, что ОВ в них практически не подвергнуто разложению. Для фракции свободного ОВ показатель варьировал 18–38 с минимальным значением для серогумусовой почвы и максимальным для подзола иллювиально-железистого. Отношение С/N во фракции ООВ_{<1.6} изменялось в пределах 22–80, максимальный показатель выявлен для верхнего подзолистого горизонта почвы горно-лесного пояса.

Полученные результаты показывают, что состав и свойства физических фракций ПОВ зави-

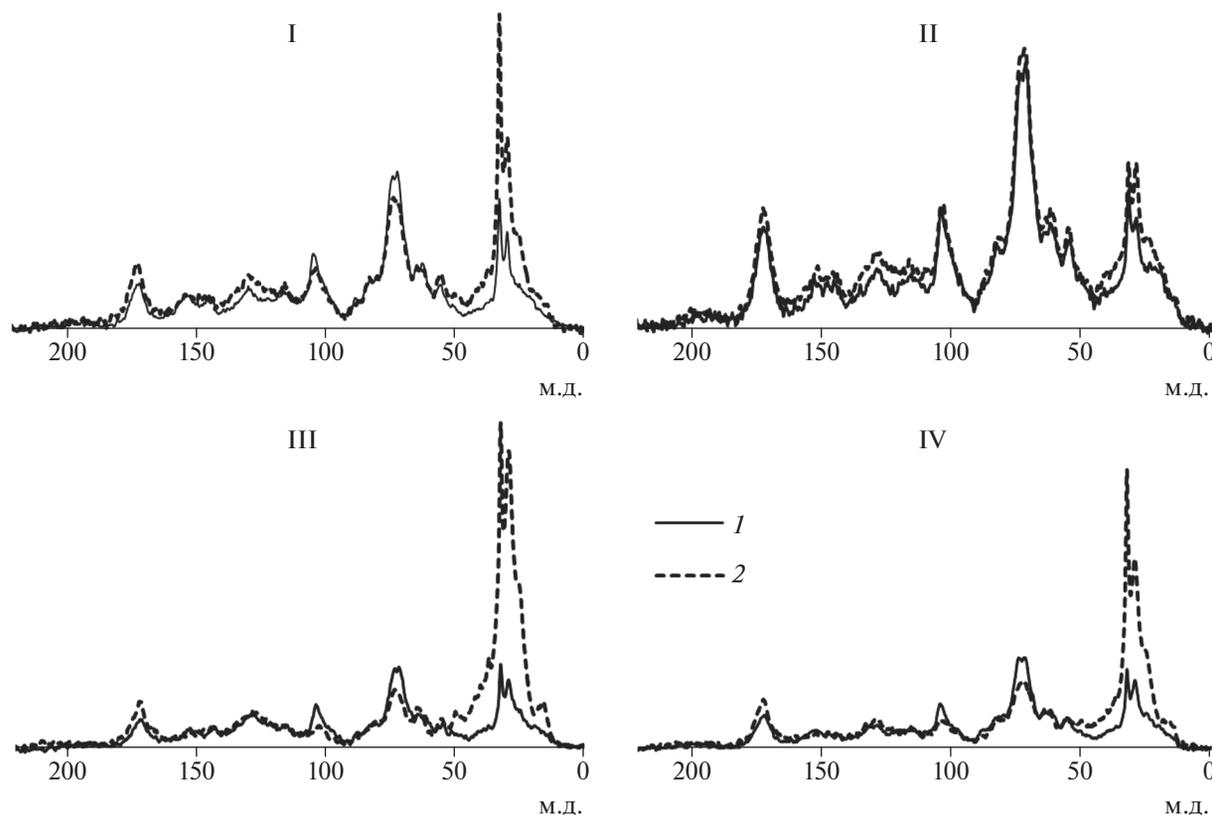


Рис. 1. Спектры ядерного магнитного резонанса на ядрах изотопа ^{13}C . I – подбур глееватый иллювиально-гумусовый, II – серогумусовая почва, III – подзол иллювиально-железистый, IV – подбур иллювиально-гумусовый глееватый мерзлотный. 1 – фракция $\text{COB}_{<1.6}$, 2 – фракция $\text{OOB}_{<1.6}$.

сят от климатических условий, принадлежности к определенному высотному поясу, состава напочвенной растительности, наличия или отсутствия подстилки ММП и обломков горных пород в почвенном профиле. Доли легких фракций, наряду с динамикой углерода и азота в них, являются показателями лабильной динамики оборота ПОВ [31]. Характер поступления и динамика накопления органического вещества в почвенном профиле зависят от характера структуры и функций экосистемы. Для почв, формирующихся в горных областях и с близким залеганием ММП, содержание легких денсиметрических фракций $\text{COB}_{<1.6}$ и $\text{OOB}_{<1.6}$ может обуславливать физическую устойчивость почв [47]. Поскольку в настоящее время изучению почвенного покрова и круговороту углерода и азота криолитозоны уделяется большое внимание [16] выделение идентификационных пулов может стать важной составляющей в понимании аккумуляции и функций углерода и обмена им с атмосферой.

В ходе работ охарактеризовано распределение углерода по структурным фрагментам органического вещества легких денсиметрических фракций ПОВ методом ^{13}C -ЯМР спектроскопии. Оценка

молекулярных фрагментов показала различия между фракциями $\text{COB}_{<1.6}$ и $\text{OOB}_{<1.6}$ в составе ПОВ, выделенных из почв разных высотных растительных поясов (рис. 1).

При анализе спектров из денсиметрических фракций $\text{COB}_{<1.6}$ и $\text{OOB}_{<1.6}$ для всех исследованных почв наблюдается наиболее выраженная интенсивность сигналов в диапазонах 0–45 и 60–95 м.д., которые относятся к алифатическим фрагментам. В литературе отмечают, что пик 0–45 м.д. представлен незамещенными алкилами, состоящими из воско-смол, липидов и субериновых структур из растений [6, 32]. Сигнал 60–95 м.д. представлен группами $\text{CH}(\text{O})$ из кольцевых атомов целлюлозы, фрагментов углеводов и лигниновыми фрагментами [49]. Установлено, что фракции $\text{COB}_{<1.6}$ содержат несколько меньше алифатических фрагментов диапазона 0–45 м.д. (17–25%), которые определяют гидрофобные свойства почвенного органического вещества и способствуют увеличению устойчивости к разложению микроорганизмами [33, 36, 43], чем во фракциях $\text{OOB}_{<1.6}$ (19–54%). Лучшая устойчивость окклюдированного органического вещества обусловлена “защитой” из минеральных почвенных агрега-

Таблица 3. Относительное содержание структурных фрагментов и интегральные показатели состава ПОВ легких денсиметрических фракций

Горизонт	Распределение углерода, %								Алкил/ O,N-алкил	fa	Ar/Al	Hb
	C _{Alk-H}	C _{CH₃-O}	C _{Alk-O}	C _{O-Alk-O}	C _{Ar-H(C)}	C _{Ar-O,N}	C _{COOH(R)}	C _{C=O}				
	0–45	45–60	60–95	95–110	110–145	145–165	165–185	185–220				
Подбур глееватый иллювиально-гумусовый												
ВН	<u>20</u>	<u>7</u>	<u>34</u>	<u>10</u>	<u>15</u>	<u>7</u>	<u>6</u>	<u>1.3</u>	<u>0.4</u>	<u>22</u>	<u>0.3</u>	<u>35</u>
	31	7	25	7	16	6	7	1.6	0.8	22	0.3	46
Серогумусовая почва												
АУ	<u>17</u>	<u>8</u>	<u>36</u>	<u>10</u>	<u>14</u>	<u>6</u>	<u>8</u>	<u>1.8</u>	<u>0.3</u>	<u>20</u>	<u>0.2</u>	<u>31</u>
	19	8	32	9	15	6	8	2.2	0.4	22	0.3	35
Подзол иллювиально-железистый												
Е	<u>25</u>	<u>6</u>	<u>29</u>	<u>9</u>	<u>19</u>	<u>6</u>	<u>6</u>	<u>0</u>	<u>0.6</u>	<u>26</u>	<u>0.3</u>	<u>44</u>
	54	6	14	3	12	4	6	1	2.4	16	0.2	67
Подбур иллювиально-гумусовый глееватый мерзлотный												
ВН	<u>22</u>	<u>7</u>	<u>33</u>	<u>9</u>	<u>14</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>2</u>	<u>0.4</u>	<u>20</u>	<u>0.2</u>	<u>36</u>
	43	7	20	5	11	4	7	2	1.3	16	0.2	54

Примечание. Над чертой – фракция COB_{<1,6}, под чертой – OOB_{<1,6}.

тов, окружающих растительные остатки, что подтверждается и ранее полученными результатами [24, 47], в которых показано, что в верхних минеральных горизонтах почв Приполярного Урала органическое вещество окклюзированной фракции лучше сохраняется. В высотном-поясном распределении можно выстроить ряд устойчивости ПОВ фракций COB_{<1,6} и OOB_{<1,6} исследованных почв: серогумусовая почва → подбур глееватый иллювиально-гумусовый → подбур иллювиально-гумусовый глееватый мерзлотный → подзол иллювиально-железистый. Закономерность характерна также для диапазона 60–95 м.д., где выявлено увеличение алифатических фрагментов во фракциях COB_{<1,6} (29–36%) по сравнению с фракциями окклюзированного органического вещества OOB_{<1,6} (14–32%). Максимальным содержанием характеризуется COB_{<1,6} горизонта серогумусовой почвы, а минимальным – подзол иллювиально-железистый.

Группа O,N-алкилов в диапазоне 45–110 м.д. представляет собой основные компоненты растительных остатков и уменьшение доли этих молекулярных фрагментов обуславливает основной процесс трансформации растительных остатков в ходе гумификации. Выявлено, что во фракциях окклюзированного органического вещества их меньше, чем во фракциях свободного ПОВ, что согласуется с литературными данными [34]. Содержание O,N-алкилов во фракциях COB_{<1,6} варьирует от 44 до 53%, во фракциях OOB_{<1,6} – от 23 до 49%. В данном случае наблюдается обратная зависимость степени гумификации фракций COB_{<1,6} и OOB_{<1,6} от типа почвы в высотном-поясном распределении: подзол иллювиально-желези-

стый → подбур иллювиально-гумусовый глееватый мерзлотный → подбур глееватый иллювиально-гумусовый → серогумусовая почва. Аналогично с содержанием алкил фрагментов в легких фракциях ПОВ по отношению алкил/O,N-алкил наблюдается увеличение степени разложения фракций окклюзированного (0.4–2.4) по сравнению с фракцией свободного (0.3–0.6) органического вещества в ряду от серогумусовой почвы до подзола иллювиально-железистого.

Можно сделать предположение, что денсиметрические фракции ПОВ нативных почв северных регионов и горных труднодоступных экосистем могут быть индикаторами климатических изменений. Легкие фракции в первую очередь подвержены разложению микроорганизмами [37], особенно это касается фракции COB_{<1,6}, обладающей несколько меньшей устойчивостью, чем фракция OOB_{<1,6}. При возможном потеплении климата скорость разложения органического вещества микроорганизмами увеличится, в результате чего углерод ПОВ будет поступать в атмосферу в виде CO₂ [35]. Сокращение доли легких фракций может указывать на некоторое изменение скорости круговорота ПОВ. Органическое вещество в составе тяжелой фракции лучше защищено и более устойчиво к разложению.

Анализ интегральных показателей молекулярного состава денсиметрических фракций ПОВ показал, что алифатические фрагменты преобладали во всех исследуемых фракциях (табл. 3), что согласуется с ранее полученными данными для препаратов гумусовых веществ, выделенных из почв региона исследования [24]. В большинстве

случаев максимальное содержание алифатических фрагментов выявлено для фракций окклюдированного органического вещества (78–84%). Фракции свободного ОВ характеризуются несколько меньшим их содержанием (74–80%). Вероятно, высокое содержание алифатических фрагментов обусловлено низкой микробиологической активностью почв из-за холодного климата Приполярного Урала, что приводит к аккумуляции органического вещества в верхних горизонтах почв, характерной для почв арктических регионов [10, 19].

Низкая доля ароматических структур в составе легких денсиметрических фракций $COB_{<1.6}$ (20–26%) и $ООВ_{<1.6}$ (16–22%), согласно [10], может быть обусловлена высокой влажностью и составом напочвенного растительного покрова. Почвы горно-тундрового пояса формируются под мохово-лишайниковыми сообществами, которые обогащены алифатическими соединениями. Подстилки почв горно-лесного пояса содержат труднорастворимые остатки древесных растений богатых лигнином. Травянистые растения подгольцового пояса богаты белковыми соединениями и в них выше доля углеводов [19]. Для почв горно-тундрового пояса также важную роль играет близкое подстиление ММП, в результате чего в почвах образуются анаэробные условия при избыточной влажности, которые снижают активность микроорганизмов и уменьшается скорость преобразования ПОВ [42].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили охарактеризовать зависимость морфологических и химических свойств, состава и структуры органического вещества почв от принадлежности к высотному растительному поясу. В горно-тундровом поясе под мохово-лишайниковой растительностью формируется подбур глееватый иллювиально-гумусовый. Под разнотравным аконитовым лугом подгольцового пояса развивается серогумусовая почва. В листовничнике горно-лесного пояса формируется подзол иллювиально-железистый. В условиях подстиления многолетнемерзлых пород формируются мерзлотные типы почв – подбур иллювиально-гумусовый глееватый мерзлотный.

Следует подчеркнуть, что важной аналитической характеристикой исследованных почв является содержание органического углерода в верхнем минеральном горизонте, которое различно и отражает специфику накопления ОВ в почвах разных высотных растительных поясах. Максимальные концентрации углерода подбура глееватого иллювиально-гумусового – 8.0%, для горизонта ВН подбура иллювиально-гумусового мерзлотного концентрация углерода составляла 5.9%, что объясняется лучшей консервацией ПОВ в условиях низ-

ких температур и подстиления ММП. В верхнем горизонте серогумусовой почвы содержится 5.6% органического углерода в результате внутрипочвенного поступления растительных остатков. Подзол иллювиально-железистый характеризуется минимальными концентрациями углерода (1.3%) из-за слабой аккумуляции ПОВ в верхних горизонтах.

Анализ состава почвенного органического вещества показал, что в основе лежит тяжелая органико-минеральная фракция $TF_{>1.6}$, которая содержит минимальные концентрации органического углерода. Легкие фракции ПОВ составляют значительно меньшие доли. Однако именно легкие фракции ПОВ содержат максимальные концентрации органического углерода и азота и, вероятно, определяют общее содержание органического углерода в почве. Полученные результаты молекулярного состава денсиметрических фракций выявили преобладание алифатических фрагментов для всех исследованных почв. Низкая доля ароматических структур в составе легких денсиметрических фракций может быть обусловлена суровым климатом, высокой влажностью почв и близким подстилением ММП, создающих анаэробные условия функционирования микроорганизмов, в результате чего уменьшается скорость разложения и увеличивается аккумуляция ПОВ в минеральных горизонтах. Таким образом, именно фракции свободного $COB_{<1.6}$ и окклюдированного $ООВ_{<1.6}$ указывают на стабильность ПОВ и могут быть индикаторами изменения климата.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-34-00618 “Особенности органического вещества почв Приполярного Урала” и комплексной программы фундаментальных научных исследований УрО РАН № 18-4-4-14 “Разнообразие основных компонентов экосистем в широтном и высотном градиентах западного макросклона Северного и Приполярного Урала”.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гречищева Н.Ю.* Разработка научных основ применения гуминовых веществ для ликвидации последствий нефтезагрязнения почвенных и водных сред. Автореф. дис. ... докт. хим. наук. Иваново, 2017.
2. *Димо В.Н.* Тепловой режим почв СССР. М.: Колос, 1972. 360 с.
3. *Добровольский Г.В., Урусевская И.С.* География почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. 460 с.
4. *Дымов А.А., Жангуров Е.В., Старцев В.В.* Почвы северной части Приполярного Урала: морфология,

- физико-химические свойства, запасы углерода и азота // Почвоведение. 2013. № 5. С. 507–516. <https://doi.org/10.7868/S0032180X1305002X>
5. Дымов А.А., Жангуров Е.В. Разнообразие и генетические особенности почв Приполярного Урала // Научно-практический журнал пермский аграрный вестник. 2014. С. 45–52.
 6. Ларионова А.А., Золотарева Б.Н., Колягин Ю.Г., Квиткина А.К., Каганов В.В., Кудяров В.Н. Состав структурных фрагментов и интенсивность минерализации органического вещества в почвах зонального ряда // Почвоведение. 2015. № 10. С. 1232–1241. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15100068>
 7. Лодыгин Е.Д., Безносиков В.А., Василевич Р.С. Молекулярный состав гумусовых веществ тундровых почв (^{13}C -ЯМР-спектроскопия) // Почвоведение. 2014. № 5. С. 546–552. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14010079>
 8. Оберман Н.Г. Мерзлые породы и криогенные процессы Восточно-Европейского сектора субарктики // Почвоведение. 1998. № 5. С. 540–550.
 9. Полевой определитель почв России. М., 2008. 182 с.
 10. Поляков В.И., Чегодаева Н.А., Абакумов Е.В. Молекулярный и элементный состав гуминовых кислот выделенных из почв Российской Арктики // Вестник Том. гос. ун-та. Биология. 2019. № 47. С. 6–21. <https://doi.org/10.17223/19988591/47/1>
 11. Семенов В.М., Лебедева Т.Н., Паутова Н.Б. Дисперсное органическое вещество в необрабатываемых и пахотных почвах // Почвоведение. 2019. № 4. С. 440–450. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19040130>
 12. Старцев В.В., Жангуров Е.В., Дымов А.А. Характеристика почв высотных поясов хребта Яптыкнырд (Приполярный Урал) // Вестник. Том. гос. ун-та. Биология. 2017. № 38. С. 6–27. <https://doi.org/10.17223/19988591/38/1>
 13. Старцев В.В., Дубровский Ю.А., Жангуров Е.В., Дымов А.А. Пространственная неоднородность свойств почв в зоне распространения островной мерзлоты (Приполярный Урал) // Вестник Том. гос. ун-та. Биология. 2019. № 48. С. 32–55. <https://doi.org/10.17223/19988591/48/2>
 14. Флоры, лишено- и микобиоты особо охраняемых ландшафтов бассейнов рек Косью и Большая Сыня (Приполярный Урал, национальный парк “Югыд ва”) / Под ред. Дегтевой С.В. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. 483 с.
 15. Холодов В.А., Константинов В.И., Кудрявцев А.В., Перминова И.В. Строение гуминовых кислот почв зонального ряда по данным спектроскопии ЯМР ^{13}C // Почвоведение. 2011. № 9. С. 1064–1073. <https://doi.org/10.1134/S0032180X11090036>
 16. Шепелев А.Г., Старостин Е.В., Фёдоров А.Н., Максимов Т.Х. Предварительный анализ запасов органического углерода и азота в породах ледового комплекса Центральной Якутии // Наука и образование. 2016. № 2. С. 35–42.
 17. Юдин Ю.П. Растительный мир. Производительные силы Коми АССР. М.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. III. Ч. I. 375 с.
 18. Abakumov E., Lodygin E., Tomashunas V. ^{13}C NMR and ESR Characterization of humic substances isolated from soils of two Siberian Arctic Islands // Int. J. Ecology. V. 2015. P. 390–391. <https://doi.org/10.1155/2015/390591>
 19. Amelung W., Flach K.W., Zech W. Climatic effects on soil organic matter composition in the great plains // Soil Sci. Soc. Am. J. 1997. V. 61. P. 115–123. <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010018x>
 20. Cerli C., Celi L., Kalbitz K., Guggenberger G., Kaiser K. Separation of light and heavy organic matter fractions in soil – Testing for proper density cut-off and dispersion level // Geoderma. 2012. V. 170. P. 403–416.
 21. Christensen B.T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover // Eur. J. Soil Sci. 2001. V. 52. P. 345–353.
 22. Dai X.Y., Ping C.L., Candler R., Haumaier L., Zech W. Characterization of soil organic matter fractions of tundra soils in arctic Alaska by Carbon-13 nuclear magnetic resonance spectroscopy // Soil Sci. Soc. Am. J. 2001. V. 65. P. 87–93. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.65187x>
 23. Dörfer C., Kühn P., Baumann F., He J.-S., Scholten T. Soil Organic Carbon Pools and Stocks in Permafrost-Affected Soils on the Tibetan Plateau // PLoS ONE. 2013. V. 8(2). P. e57024. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057024>
 24. Dymov A.A., Zhangurov E.V., Hagedorn F. Soil organic matter composition along altitudinal gradients in permafrost affected soils of the Subpolar Ural Mountains // Catena. 2015. V. 131. P. 140–148. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.03.020>
 25. Ejarque E., Abakumov E. Stability and biodegradability of organic matter from Arctic soils of Western Siberia: Insights from ^{13}C -NMR spectroscopy and elemental analysis // Solid Earth. 2016. V. 7(1). P. 153–165. <https://doi.org/10.5194/se-7-153-2016>
 26. Goncalves C.N., Dalmolin S.D., Dick D.P., Knicker H., Klamt E., Kögel-Knabner I. The effect of 10% HF treatment on resolution of CPMAS ^{13}C NMR spectra and on the quality of organic matter in Ferralsols // Geoderma. 2003. V. 116. P. 373–392.
 27. Grünewald G., Kaiser K., Jahn R., Guggenberger G. Organic matter stabilization in young calcareous soils as revealed by density fractionation and analysis of lignin-derived constituents // Org. Geochem. 2006. V. 37. P. 1573–1589.
 28. Guareschi R., Pereira M., Perin A. Densimetric fractionation of organic matter in an agricultural chronosequence in no-till areas in the Cerrado region, Brazil // Semina: Ciências Agrárias, Londrina. 2016. V. 37. P. 595–610. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n2p595>
 29. Hutta M., Gora R., Halko R., Chalanyova M. Some theoretical aspects in the separation of humic substances by combined liquid chromatography methods // J. Chromatography A. 2011. V. 1218. P. 8946–8957. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.06.107>
 30. IUSS Working Group WRB. 2015. World reference base for soil resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating

- legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. Rome: FAO.
31. Janzen H.H., Campbell C.A., Brandt S.A., Lafond G.P., Townley-Smith L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations // Soil Sci. Soc. Am. J. 1992. V. 56. P. 1799–1806.
 32. Keeler C., Kelly E.F., Maciel G.E. Chemical-structural information from solid-state ¹³C NMR studies of a suite of humic materials from a lower montane forest soil, Colorado, USA // Geoderma. 2006. V. 130. № 1–2. P. 124–140.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.01.015>
 33. Kögel-Knabner I. ¹³C and ¹⁵N NMR spectroscopy as a tool in soil organic matter studies // Geoderma. 1997. V. 80. P. 243–270.
[https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00055-4)
 34. Kölbl A., Kögel-Knabner I. Content and composition of free and occluded particular organic matter in differently textured arable Cambisol as revealed by solid state ¹³C NMR spectroscopy // J. Plant Nutrition Soil Sci. 2004. V. 167. P. 45–53.
<https://doi.org/10.1002/jpln.200321185>
 35. Lee H., Schuur E.A.G., Vogel J.G. Soil CO₂ production in upland tundra where permafrost is thawing // J. Geophys. Res. 2010. V. 115. G01009.
<https://doi.org/10.1029/2008JG000906>
 36. Lodygin E., Beznosikov V., Abakumov E. Humic substances elemental composition of selected taiga and tundra soils from Russian European North-East // Polish Polar Res. 2017. V. 38. P. 125–147.
<https://doi.org/10.1515/popore-2017-0007>
 37. Ludwig M., Achtenhagen J., Miltner A., Eckhardt K., Leinweber P., Emmerling C., Thiele-Bruhn S. Microbial contribution to SOM quantity and quality in density fractions of temperate arable soils // Soil Biol. Biochem. 2015. V. 81. P. 311–322.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.12.002>
 38. Mastrolonardo G., Francioso O., Di Foggia M., Bonora S., Forte C., Certini G. Soil pyrogenic organic matter characterisation by spectroscopic analysis: a study on combustion and pyrolysis residues // J. Soils Sediments. 2015. V. 15. P. 769–780.
<https://doi.org/10.1007/s11368-014-1034-x>
 39. Michaelson G.J., Ping C.L., Epstein H.E., Kimble J.M., Walker D.A. Soils and frost boil ecosystems across the North American Arctic Transect // J. Geophys. Res. 2008. 113. G03S11.
<https://doi.org/10.1029/2007JG000672>
 40. Miesel J.R., Hockaday W.C., Kolka R.K., Townsend P.A. Soil organic matter composition and quality across fire severity gradients in coniferous and deciduous forests of the southern boreal region // J. Geophys. Res. Biogeosci. 2015. V. 120. P. 1124–1141.
<https://doi.org/10.1002/2015JG002959>
 41. Mikutta R., Turner S., Schippers A., Gentsch N., Meyer-Stüve S., Condrón L.M., Peltzer D.A., Richardson S.J., Eger A., Hempel G., Kaiser K., Klotzbücher T., Guggenberger G. Microbial and abiotic controls on mineral-associated organic matter in soil profiles along an ecosystem gradient // Sci Rep. 2019. V. 9. P. 10294.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-46501-4>
 42. Polyakov V., Zazovskaya E., Abakumov V. Molecular composition of humic substances isolated from selected soils and cryconite of the Grøn fjorden area. Spitsbergen // Polish Polar Res. 2019. V. 40. P. 105–120.
<https://doi.org/10.24425/ppr.2019.128369>
 43. Santin C., Doerr S.H., Merino A., Bryant R., Loader N.J. Forest floor chemical transformations in a boreal forest fire and their correlations with temperature and heating duration // Geoderma. 2016. V. 264. P. 71–80.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.09.021>
 44. Schmidt M.W.I., Torn M.S., Abiven S., Dittmar T., Guggenberger G., Janssens I.A., Kleber M., Kögel-Knabner I., Lehmann J., Manning D.A.C., Nannipieri P., Rasse D.P., Weiner S., Trumbore S.E. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property // Nature. 2011. V. 478(7367). P. 49–56.
<https://doi.org/10.1038/nature10386>
 45. Schuur E.A.G., McGuire A.D., Grosse G., Harden J.W., Hayes D.J., Hugelius G., Koven C.D., Kuhry P. Climate change and the permafrost carbon feedback // Nature. 2015. V. 520. P. 171–179.
<https://doi.org/10.1038/nature14338>
 46. Sjögersten S., Turner B.L., Mahieu N., Condrón L.M., Wookey P.A. Soil organic matter biochemistry and potential susceptibility to climatic across the forest-tundra ecotone in the Fennoscandian mountains // Glob. Chang. Biol. 2003. V. 9. P. 759–772.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00598.x>
 47. Startsev V.V., Khaydapova D.D., Degteva S.V., Dymov A.A. Soils on the southern border of the cryolithozone of European part of Russia (the Subpolar Urals) and their soil organic matter fractions and rheological behavior // Geoderma. 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114006>
 48. Sutton R., Sposito G. Molecular structure in soil Humic Substances: The new view // Environ. Sci. Technol. 2005. V. 23. P. 9009–9015.
<https://doi.org/10.1021/es050778q>
 49. Tadini A.M., Pantano G., Toffoli A.L., Fontaine B., Spaccini R., Piccolo A., Moreira A.B., Bisinoti M.C. Off-line TMAH-GC/MS and NMR characterization of humic substances extracted from river sediments of northwestern São Paulo under different soil uses // Sci. Total Environ. 2015. V. 506–507. P. 234–240.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.11.012>
 50. Valtera M., Šamonil P. Soil organic carbon stocks and related soil properties in a primary *Picea abies* (L.) Karst. volcanic-mountain forest // Catena. 2018. V. 165. P. 217–227.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.01.034>
 51. Vasilevich R., Lodygin E., Abakumov E. Molecular composition of humic substances isolated from permafrost peat soils of the eastern European Arctic // Polish Polar Res. 2019. V. 39. P. 481–503.
<https://doi.org/10.24425/118757>
 52. Waldrop M.P., Wickland K.P., White III R., Berhe A.A., Harden W., Romanovsky V.E. Molecular investigation into a globally important carbon pool: permafrost protected carbon in Alaskan soils // Glob. Chang. Biol. 2010. V. 16. P. 254–255.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02141.x>

The Content and Composition of Organic Matter of Soils of the Subpolar Urals

V. V. Startsev^{1, *}, A. S. Mazur², and A. A. Dymov¹

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

²*Saint Petersburg University, Saint Petersburg, 198504 Russia*

**e-mail: vik.startsev@gmail.com*

Soil organic matter (SOM) at high latitudes is an important and sensitive indicator of climate change. This article describes the main morphological features, chemical properties, and composition of organic matter in the main types of soils along the altitudinal gradient of the Subpolar Urals. Soils forming in the mountainous tundra zone (gleyic humus-illuvial podbur/Skeletal Stagnic Entic Podzol (Turbic)), in the mountainous sub-alpine zone (gray-humus soil/Skeletal Umbrisol), in the mountainous taiga zone (iron-illuvial podzol/Skeletal Albic Podzol), and in the mountainous tundra zone with permafrost (permafrost-affected gleyic humus-illuvial podbur/Skeletal Follic Cryosol (Humic)) were studied. The method of densimetric fractionation was applied to study soil organic matter; it allowed us to distinguish between three fractions of organic matter differing in the activity of carbon participation in the biological turnover: the free particulate organic matter fPOM_{<1.6}, the occluded particulate organic matter oPOM_{<1.6}, and the heavy organic matter bound with the mineral phase MaOM_{>1.6}. The latter fraction predominated in the upper mineral soil horizons and constituted 89–93% of the total organic carbon. The content of light fractions was significantly lower (0.6–4.7%). However, the content of organic carbon and nitrogen in the studied soils directly correlated with the contents of light fractions fPOM_{<1.6} ($r = 0.40$ and $r = 0.79$, $p < 0.05$) and oPOM_{<1.6} ($r = 0.68$ and $r = 0.83$, $p < 0.05$). Aliphatic fragments predominated in the composition of POM; their content varied from 74.5 to 80.5% for fPOM_{<1.6} and from 77.9 to 84.2% for oPOM_{<1.6}. In addition, it was found that the organic matter of the oPOM_{<1.6} fraction has a higher degree of decomposition (0.4–2.4) and hydrophobicity (34.7–66.5%).

Keywords: soil organic matter, Subpolar Urals, densimetry, ¹³C-NMR, Podzol, Umbrisol, Cryosol