

Особенности строения многолетнемёрзлых торфяников на Европейском Северо-Востоке и состава их органического вещества

© 2015. Д. А. Каверин, к.г.н., с.н.с., Е. М. Лаптева, к.б.н., зав.отделом,
А. В. Пастухов, к.г.н., н.с.,
Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
e-mail: alpast@mail.ru

В статье рассмотрены особенности строения многолетнемёрзлых торфяников, распространённых в пределах южной части Большеземельской тундры. Выявлено трёхкомпонентное строение почвенно-геокриологического комплекса бугристых торфяников как системы «сезонно-талый слой – верхние многолетнемёрзлые породы – нижние многолетнемёрзлые породы». Исследованы особенности профильного распределения и состава некоторых компонентов почвенного органического вещества бугристых торфяников. Показано, что параметры гумусного состояния, оцениваемые по данным фракционно-группового состава гумуса, хорошо маркируют условия формирования сезонно-талых слоёв и многолетнемёрзлых пород в почвах бугристых торфяников юго-востока Большеземельской тундры. Наиболее показательными в этом отношении являются: содержание углерода водорастворимых органических соединений, соотношение гуминовых и фульвокислот и соотношение фракций в составе группы гуминовых кислот. Отсутствие растительного покрова на торфяных пятнах согласуется с низким содержанием в их почвах легкоминерализуемых органических соединений, обеспечивающих растения азотом и питательными элементами.

The paper deals with structure of permafrost peatlands from the southern part of the Bolshezemelskaya Tundra region. The soil-geocryological complex of peatlands was found for three constituents in its structure as 'active layer – upper permafrost – lower permafrost'. Profile distribution and composition of some soil organic matter components at peatlands was studied. The humus state parameters which are accessed on base of fraction-group humus composition data are good markers of formation conditions of active layers and permafrost rocks in soils of peatlands from the south-eastern part of the Bolshezemelskaya Tundra region. The most indicative among them are: carbon content of water-soluble organic compounds, humic to fulvic acids ratio, ratio of fractions in composition of humic acids. Zero vegetation cover on peat circles corresponds with low content of easy-mineralizable organic compounds in soil which provide plants with nitrogen and nutrients.

Ключевые слова: торфяные олиготрофные почвы, торфяные пятна, почвенное органическое вещество, сезонно-талый слой, многолетнемёрзлые породы.

Keywords: peaty oligotrophic soils, peat circles, soil organic matter, active layer, permafrost.

Введение

Болотные экосистемы Арктики и Субарктики, включая полигональные и бугристые торфяники, представляют собой специфические образования, значимость которых определяется их ведущей ролью в аккумуляции органического вещества (ОВ) в ландшафтах тундры и лесотундры [1]. Изучение торфяников Крайнего Севера началось с конца XIX столетия. К середине XX века были выделены и исследованы различные варианты бугристых комплексов, формирующихся на территории европейского и западно-сибирского севера России, получены данные об условиях их питания, строения, характере растительного покрова, стратиграфии торфяных залежей [2]. Для отдельных регионов Большеземельской тундры (БЗТ) были охарактеризованы некоторые физико-химические свойства торфяников [3–6], установлен ботанический

состав торфов и химический состав болотных вод [7], высказаны гипотезы об эволюции болотных экосистем БЗТ в голоцене [8]. Показано, что многолетнемёрзлые торфяники широко распространены на слабодренированных водоразделах и озёрно-аллювиальных комплексах БЗТ, занимая до 10% их площади [9].

В условиях прогнозируемого глобального потепления климата интерес исследователей к многолетнемёрзлым торфяникам определяется возможностью активной минерализации ОВ торфяной залежи при оттаивании многолетней мерзлоты и последующего возрастания эмиссии парниковых газов в атмосферу [10, 11]. В настоящее время получены новые данные о запасах органического углерода в почвах болотных экосистем тундры и лесотундры [12] и составе их водорастворимых компонентов, определяющих особенности миграции ОВ в ландшафтах БЗТ [14].

Цель данной работы заключалась в оценке специфики почвенного органического вещества с учётом особенностей его профильного и пространственного распределения в пределах торфяной залежи многолетнемёрзлого бугристого торфяника, формирующегося в южной части Большеземельской тундры.

Объекты и методы исследований

Исследования проведены в южной части БЗТ, в бассейне р. Сейдс – притока р. Усв (Печорский речной бассейн). В данном регионе широко распространены бугристо-мочажинные комплексы, которые занимают обширные пространства междуречий и древних долин. В почвенном покрове бугристых болотных комплексов преобладают *тундровые остаточно-торфяные почвы бугров и болотные верховые торфяные почвы мочажин* [4, 13]. Подробная характеристика района исследований и почв рассматриваемого торфяника представлена в работах [9, 14]. Здесь отметим следующее. В качестве объекта исследования выбран плосковершинный торфяной бугор высотой около

1 м и диаметром порядка 20 м. Основную часть плоской вершины бугра занимает торфяное пятно, лишённое растительного покрова. От центра бугра до его склона нами была заложена траншея протяжённостью 10 м.

Для выявления закономерностей распределения и состава органического вещества образцы торфа отбирали в трёх основных зонах траншеи: в центре оголённого пятна (2-1), в его краевой зоне (2-2) и периферической части торфяного бугра, на его склоне (2-3) (рис. 1). Из сезонно-талого слоя (СТС) образцы торфа отбирали в мерные цилиндры объёмом 503 см³, из многолетнемёрзлых слоёв (ММП) – при помощи ручного и машинного бурения, в мочажинах – буром торфоразведочным с пробоотборочным челноком [15]. Влажность образцов торфа из СТС и ММП определяли весовым методом. Измерения температур СТС, ММП и воздуха фиксировали с помощью цифровых логгеров НОВО U-12. Химические анализы почв выполнены в аккредитованной экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511257 от 26.02.2014 г.) и

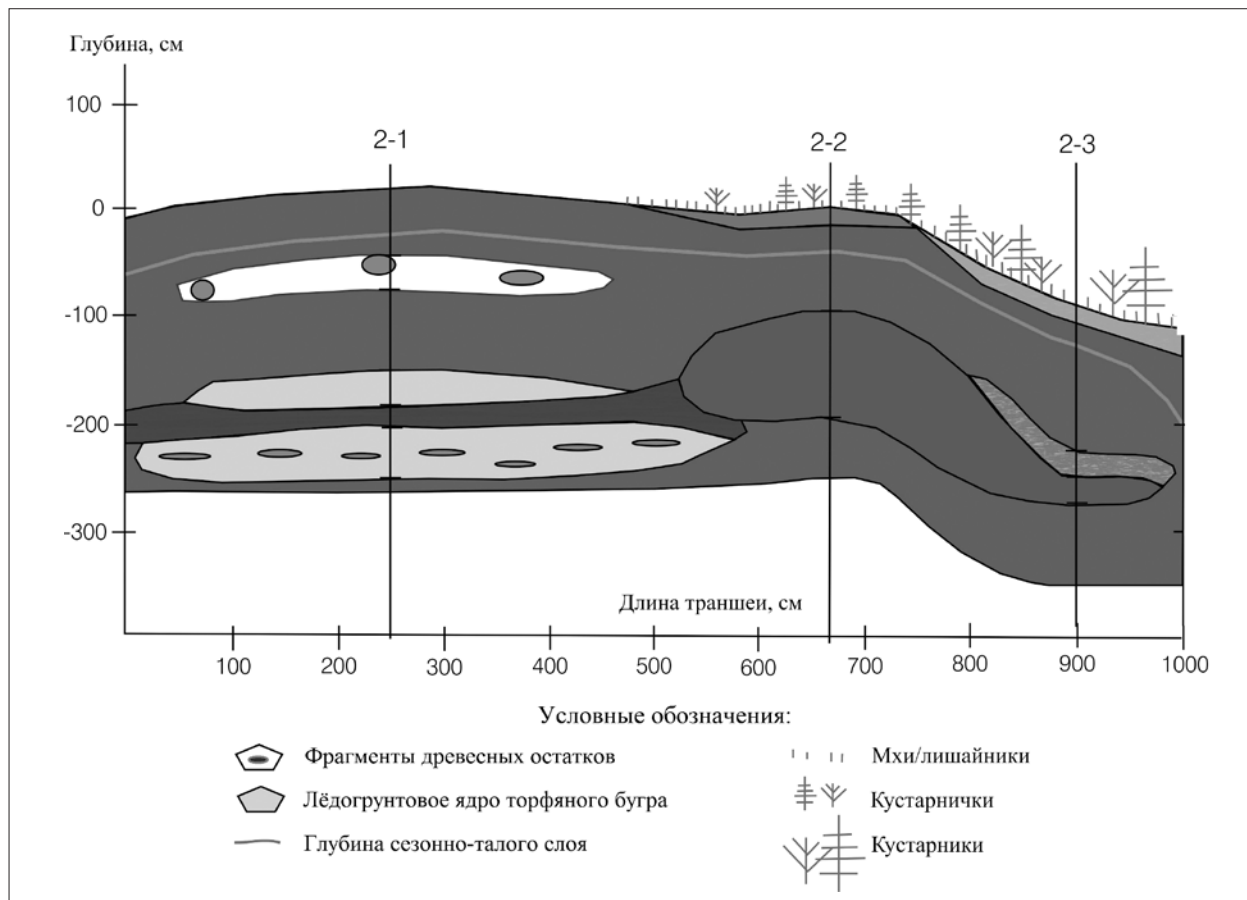


Рис. 1. Морфологическое строение почвенно-геокриологического комплекса в пределах катены «пятно – склон бугра»: 2-1 – почва оголённого пятна, лишённого растительного покрова; 2-2 – почва краевой зоны пятна; 2-3 – почва склона торфяного бугра.

в лаборатории отдела почвоведения. Валовое содержание углерода и азота определяли на анализаторе EA-1100, рН водных суспензий – потенциометрически с применением стеклянного электрода [16]. Групповой и фракционный состав гумуса – по схеме Тюрина в модификации Пономарёвой-Плотниковой [17] со спектрофотометрическим окончанием [16]. Содержание углерода водорастворимых компонентов гумуса – последовательной экстракцией холодной и горячей (кипячение в течение 1 часа с обратным холодильником) дистиллированной водой при соотношении почва : вода 1 : 25. Для сравнительной оценки гумусного состояния почв использовали систему, предложенную Д. С. Орловым с соавторами [18].

Результаты и обсуждение

Появление лишённых растительности пятен на поверхности торфяных бугров обусловлено криогенными процессами – пучением [19], ветровой и термоэрозией [8], определяющими выход на дневную поверхность бугра хорошо разложенных слоёв торфа, залегающих в многолетнемёрзлой толще. Они отличаются по своему ботаническому составу и зольности от массы торфа, слагающей СТС краевой зоны пятна и склона бугра. Как показали проведённые нами исследования, поверхностные горизонты СТС почвы склона бугра сложены сфагновым торфом, зольность которого составляет 3,9–5,7%. В краевой зоне пятна торф также сфагновый, но его зольность в верхнем 0–10 см слое характеризуется величиной 5,3%, а ниже, на глубине 20–25 см – 9,5%. В почве пятна поверхностный горизонт сложен ивово-осоково-гипновым низинным торфом с зольностью 6,0–8,0%, в нижней части СТС сменяющимся на хвощово-осоковый с зольностью 9,6%. Многолетнемёрзлые горизонты

сложены низинным торфом из травянистых (осоки) и древесных (различные виды берёзы и ели) растений с небольшой примесью бриевых мхов [20]. Зольность торфа в этих горизонтах составляет величины порядка 8–12%. ММП, подстилающие почву торфяного пятна, на глубине 1,5–2 м и ниже характеризуются наличием лёдогрунтовых горизонтов (рис. 1) с максимальным содержанием весовой влаги. Эти горизонты являются составной частью лёдогрунтового ядра торфяного бугра. Почва пятна отличается относительно холодным зимним и годовым температурными режимами и значительным прогреванием в летний период (табл. 1). Последнее обусловлено залеганием на поверхности тёмно-коричневого торфа, что способствует повышенному поглощению солнечной радиации. Соответственно, мощность СТС в направлении от пятна к склону торфяного бугра уменьшается с 55 до 35 см.

Различия в составе торфа, условиях его промерзания и оттаивания нашли своё отражение в характере профильного и пространственного распределения различных компонентов почвенного органического вещества. Следует отметить, что торфяные горизонты, залегающие на одинаковой глубине, во всех профилях характеризуются приблизительно сходным содержанием $S_{\text{общ}}$ – 46–49% (рис. 2В). Исключением являются две глубины: 20–40 и 200–220 см. В первом случае минимальное (38,1%) содержание $S_{\text{общ}}$ выявлено в почве склона бугра, во втором (34%) – в почве торфяного пятна. Минимум в содержании $S_{\text{общ}}$ на глубине 200–240 см приурочен к слою торфа, содержащему слабо разложившиеся фрагменты древесины.

Обогащённость ОВ торфа во всех рассмотренных разрезах, по градации Д. С. Орлова с соавторами [18], очень низкая – 15–32 (рис. 2С). Сезонно-талые горизонты почвы пятна отличаются несколько большей обогащённо-

Таблица 1

Диапазоны основных температурных показателей в почве пятна (I) и склона торфяного бугра (II), по данным за период с 2007-го по 2012 г.

Параметр		Глубина							
		0 см		20 см		50 см		120 см	
		I	II	I	II	I	II	I	II
Среднегодовая температура, °С	мин	-4.9	-1.8	-4.7	-1.9	-4.6	-2	-4.4	-0.4
	макс	-0.7	0.5	-0.6	-0.6	-1.7	-1	-1.8	-0.3
Суммы положительных среднесуточных температур, °С·дней	мин	719	532	497	164	18	0	0	0
	макс	1004	902	818	237	89	0	0	0
Суммы отрицательных среднесуточных температур, °С·дней	мин	-2508	-1264	-2204	-841	-1709	-713	-1507	-580
	макс	-1276	-804	-1040	-440	-708	-350	-657	-349

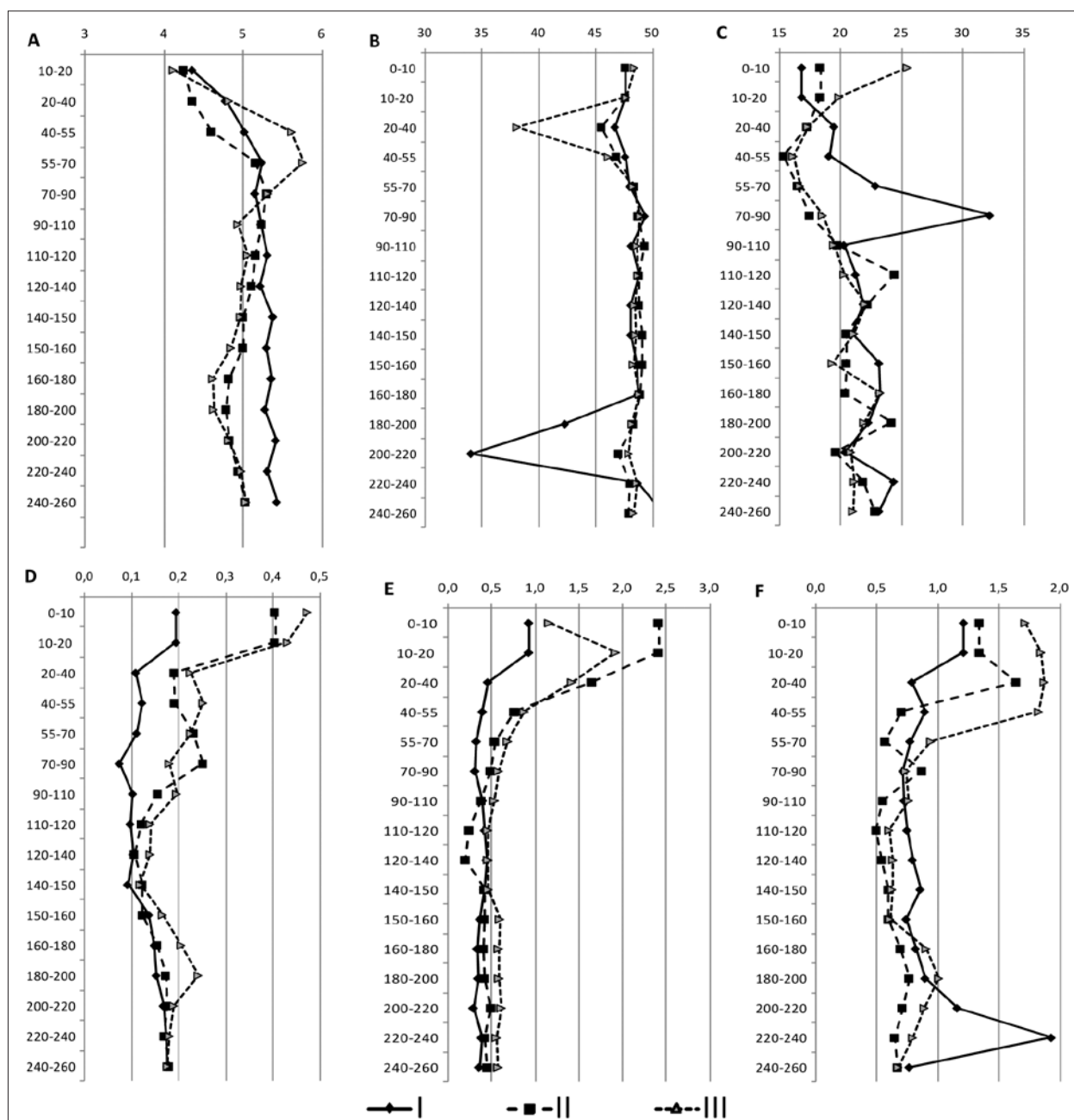


Рис. 2. Профильное распределение величины рН водной вытяжки (А; ед. рН), общего содержания органического углерода (В; массовая доля $C_{\text{общ.}}$, %), величины отношения С:N (С), массовой доли углерода водорастворимых органических соединений, экстрагируемых холодной (D; $C_{\text{воб.}}$, %) и горячей (E; $C_{\text{вобг.}}$, %) водными вытяжками, массовой доли углерода кислоторастворимой фракции гумуса ФК-1а (F; %). Почвы: I – оголённого торфяного пятна; II – краевой зоны пятна; III – склона торфяного бугра.

стью азотом (величина С:N равна 15–19), по сравнению с ММП (20–23), что подтверждает более высокую степень разложённости его органического вещества. Резкое повышение величины С:N под пятном на глубине 70–90 см объясняется консервацией здесь слаборазложившихся фрагментов древесины.

Аналогичная картина характерна для почвы краевой зоны пятна. Однако в отличие от почвы пятна, здесь величина соотношения

С:N порядка 15–19 прослеживается на более значительную глубину (до 90 см от дневной поверхности почвы), что обусловлено менее выраженными здесь процессами пучения и выноса глуболежащих слоёв торфа на дневную поверхность торфяного бугра, а также, возможно, более активной минерализацией в периоды оттаивания в среднесубатлантическое время [8]. В почве склона бугра, содержание азота в сфагновом торфе, слагающем её

СТС, ниже, что обуславливает более высокие значения здесь величины С:N (20–25).

Во всех рассмотренных профилях выделяется толща «нижних ММП» (глубже 90 см), в которой соотношение С:N варьирует в узком диапазоне величин (19–24), незначительно различаясь между почвами (рис. 2С). Возможно, это обусловлено схожими палеогеографическими условиями формирования торфа на локальном уровне и «консервацией» нижних слоёв торфа мерзлотой, которая не оттаивала в течение последних двух тысяч лет [24].

Одной из важных характеристик ОБ почв является содержание в почве углерода водорастворимых органических соединений [18]. Анализ водных вытяжек рассмотренных почв показал, что они по величине рН водных вытяжек все, за редким исключением (рис. 2А), относятся к категории кислых (рН 3,6–5,5 единиц). При этом сезонно-талые и многолетнемерзлые горизонты почвы пятна характеризуются более высокими показателями величины рН, по сравнению с почвой склона бугра и краевой зоны пятна.

Торфяная толща чётко дифференцирована по абсолютному содержанию водорастворимых компонентов (рис. 2D, 2E). Нижние слои ММП во всех разрезах характеризуются близкими величинами $C_{\text{ВОВ}}$, экстрагируемых водой при комнатной температуре (0,09–0,24% от массы почвы). Дополнительная обработка горячей водой в 3–5 раз увеличивает выход водорастворимых органических веществ из образцов торфа ММП. В СТС содержание водорастворимых компонентов в 2–2,5 раза выше по сравнению с ММП. В направлении от почвы пятна к почве склона торфяного бугра их содержание увеличивается практически в 2 раза (рис. 2D). Соответственно, рассмотренные почвы достаточно чётко различаются по запасам как общего органического углерода, так и его водорастворимых компонентов (рис. 3А, 3В). Как видно из рис. 3, в почвах краевой зоны пятна и склона бугра основной вклад в запасы ОБ вносят СТС (глубина 0–55 см) и верхний слой ММП (55–105 см), который в зависимости от конкретных погодных условий года может периодически включаться в процессы оттаивания-промерзания.

Эти данные свидетельствуют о том, что в верхней части торфяной залежи в летний период времени достаточно активно идут процессы трансформации торфа с высвобождением легкоминерализуемых фракций, мигрирующих с внутрипочвенным стоком к слону торфяного бугра. Водорастворимые органические соединения (сахара, аминокислоты, низкомо-

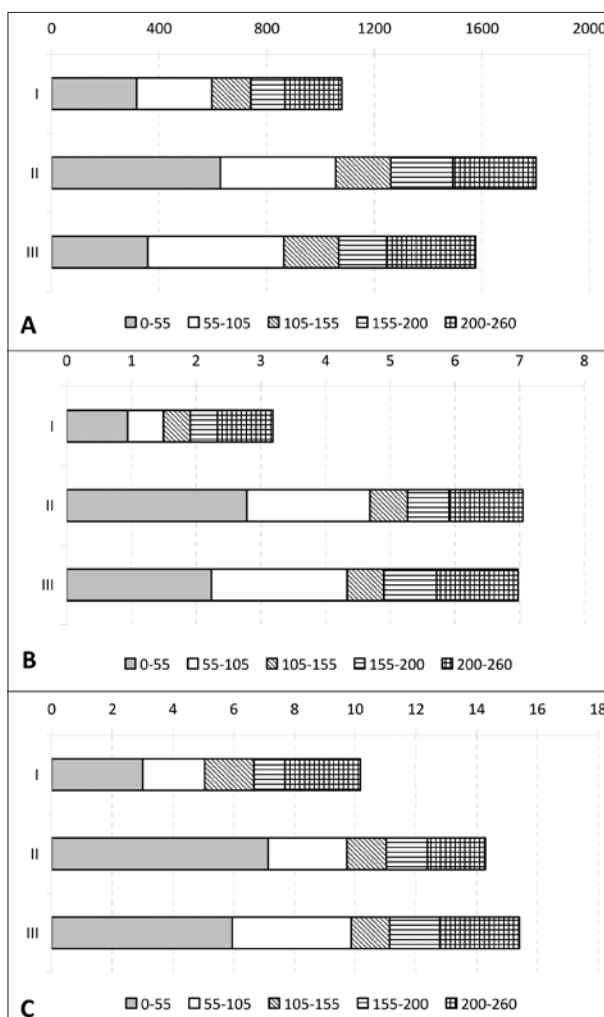


Рис. 3. Запасы (т/га) общего органического углерода (А; $C_{\text{общ}}$), углерода водо- (В; $C_{\text{ВОВ}}$) и кислоторастворимых (С; ФК-1а) органических соединений в разных по глубине слоях (см) почв торфяного бугра: I – пятно; II – краевая зона пятна; III – склон торфяного бугра.

лекулярные кислоты и т. д.) необходимы для поддержания жизнедеятельности почвенной микробиоты, а также для роста и развития растений. Относительно высокое их содержание в СТС почвы склона бугра (по градации Д. С. Орлова с соавторами [18] оно соответствует категории «выше среднего») может быть связано с низкой микробиологической деятельностью, обуславливающей накопление водорастворимых органических соединений в почвах, и возрастанием в направлении оголённое пятно → краевая зона пятна → склон торфяного бугра увлажнённости почв [23]. Низкое содержание $C_{\text{ВОВ}}$ в СТС почвы пятна в определённой мере может объяснять отсутствие здесь восстановления растительного покрова.

Использование для оценки состава ОБ фракционно-группового анализа гумуса позволило выявить некоторые особенности тор-

фяных почв БЗТ и закономерности изменения состава ОВ как в пределах рассмотренных профилей, так и в пределах всего торфяного бугра (табл. 2). В целом, для торфов характерна высокая доля негидролизуемого остатка – гумина [4, 22], что отмечено нами и для почв торфяного бугра плоскобугристого торфяника БЗТ. Его содержание дифференцировано в профиле краевой зоны пятна и склона торфяного бугра, где доля гумина хорошо маркирует периодически оттаивающую и многолетнемёрзлую толщ (табл. 2). Исключением является верхний 0–10 см слой сфагнового торфа в почве склона бугра, характеризующийся достаточно высокой долей гумина (67%), не характерной для СТС остальных почв. В почве пятна дифференциация профиля по содержанию гумина наименее выражена. Только его верхний 0–20 см слой торфа отличается более низким (46%) содержанием гумина по сравнению с остальной толщ торфяной залежи (50–59%).

К особенностям ОВ мерзлотных торфяников БЗТ следует отнести преобладание гуминовых кислот (ГК) над фульвокислотами

(ФК). Соотношение Сгк : Сфк в рассмотренных профилях варьирует от 1,1 до 5, возрастающая в слоях ММП, что может быть следствием трансформации дисперсных гумусовых веществ в жёстких условиях промерзания [21]. Максимальным относительным содержанием группы гуминовых кислот характеризуются слои торфа, находящиеся на границе между постоянно мёрзлой толщ и верхней сезонно-талой (до глубины 70–90 см). Такая картина, по всей видимости, обусловлена процессами периодической надмерзлотной коагуляции и накопления ГК, которые могли происходить в периоды опускания кровли ММП. В почве пятна максимальные концентрации гуминовых кислот наблюдаются в поверхностном горизонте и на глубине 110–140 см.

Для группы фульвокислот отмечено возрастание их относительного содержания в СТС (табл. 2) и запасов наиболее «агрессивных» компонентов группы ФК – фракции ФК-1а (рис. 3С) в направлении от почвы пятна к почве склона торфяного бугра. Это связано с возрастанием уровня увлажнения почв в этом

Таблица 2

Некоторые параметры гумусного состояния почв плоскобугристого торфяника

Глубина, см	Содержание углерода, % от Собщ.			Содержание углерода фракций, % к сумме ГК		Тип гумуса, Сгк:Сфк	Степень гумификации ³	
	ΣГК ¹	ΣФК ²	Гумин	ГК-1	ГК-2		I	II
2-1. Почва торфяного пятна								
0-20	38	17	46	58	8	2,3	38	1,58
20-40	28	14	59	35	8	2,1	28	0,84
40-55	33	13	54	22	13	2,6	33	0,56
55-90	28	10-13	56-59	22	7	2,2-3,3	28	0,42-0,46
90-150	35-39	11-13	50-53	19-31	1-6	2,8-3,4	35-39	0,46-0,73
150-200	26-31	13-16	55-61	30-46	3-9	2,0	26-31	0,77
200-260	28-40	19-31	36-53	37-51	1-11	1,1-2,1	28-40	0,63-1,05
2-2. Почва краевой зоны пятна								
0-20	49	19	32	71	0	2,6	49	1,62
20-40	37	20	44	73	0	1,9	37	1,30
40-55	40	12	48	60	2	3,4	40	1,35
55-90	46-47	8-13	41-60	24-38	0-1	3,6-3,9	46-47	0,46-1,04
90-150	17-32	6-8	62-78	24-41	0	2,9-4,4	17-32	0,36-0,45
150-200	21-28	7-8	62-71	20-28	0	2,7-3,9	21-28	0,30
200-260	28-37	8-9	55-64	21-26	0-2	3,1-4,5	28-37	0,35-0,49
2-3. Почва склона торфяного бугра								
0-10	19	17	67	54	0	1,1	19	0,41
10-20	29	24	47	62	0	1,2	29	0,91
20-40	33	31	36-37	64	0	1,1	33	1,01
40-55	43	20	37	61	0	2,0	43	1,56
55-90	39-51	7-11	38-55	24-53	0	4,3-4,9	39-51	0,49-1,45
90-150	29-39	9-12	49-61	21-33	0-2	2,8-3,3	29-39	0,36-0,43
150-200	26-36	6-9	58-65	18-29	0-10	2,7-5,1	26-36	0,28-0,49
200-260	25-32	10-12	56-64	23-26	6	2,4-2,6	25-32	0,44-0,50

Примечание. ¹ ΣГК – суммарное содержание углерода фракций гуминовых кислот; ² ΣФК – суммарное содержание углерода фракций фульвокислот; ³ степень гумификации: I – по Д. С. Орлову, $\frac{\sum \text{ГК}}{\sum \text{ГК}} \cdot E_{465\text{nm}, 1\text{cm}}^{0,001\%C}$ [Орлов и др.]; II – по Т. А. Гореловой, $\frac{\sum \text{ГК}}{\text{Собщ}} \cdot 100\%$

направлении и с характером растительности (моховый ярус представлен преимущественно сфагновыми мхами), обуславливающими продуцирование и накопление как высокомолекулярных фульвокислот, так и низкомолекулярных органических кислот [23].

Подвижность почвенного ОВ, оцениваемая по содержанию лабильных гумусовых веществ, извлекаемых 0,1 моль/л NaOH (фракции ГК-1 и ФК-1), т. е. способных участвовать в миграции в профиле и в ландшафтах, выше в сезонно-талых слоях торфяных почв (табл. 2). При этом, в отличие от почвы пятна, почвы его краевой зоны и склона торфяного бугра до глубины 70–90 см характеризуются высоким содержанием фракции ГК-1, что может быть обусловлено миграцией гуминовых кислот и их соединений с железом и алюминием как по профилю почвы, так и на ландшафтном уровне – в пределах микрокатены «торфяное пятно – склон торфяного бугра». В ММП, начиная с глубины 70 см и ниже, в составе группы ГК преобладают «прочно связанные» гуминовые кислоты, которые экстрагируются из образцов торфа при дополнительном нагревании в присутствии щёлочи (фракция ГК-3).

Интересной особенностью рассмотренного нами торфяного бугра является практически полное отсутствие (почва краевой зоны пятна и склона торфяного бугра) или незначительное количество (почва торфяного пятна) фракции ГК, предположительно связанной с кальцием (ГК-2). Это в принципе характерно для кислых северных почв [4, 21], но, как показывает анализ имеющейся литературы [22], в торфяниках Сибири фракция ГК-2 в составе ОВ торфов присутствует и её доля может достигать до 10%.

Степень гумификации органического вещества рассмотренных почв значительно дифференцирована как по профилю, так и в катене «торфяное пятно – склон торфяного бугра». Поверхностные горизонты почвы пятна и краевой зоны характеризуются высокой и очень высокой степенью гумификации, тогда как верхний горизонт почвы склона торфяного бугра отличается слабой степенью гумификации (табл. 2). Максимальная степень гумификации характерна для контакта сезонно-талых и многолетнемёрзлых горизонтов во всех трёх профилях. Использование для оценки степени гумификации величины ПГТ (показатель гумификации торфа), предложенной Т. А. Гореловой [18], учитывающей помимо содержания ГК их оптическую плотность, позволило выявить достаточно интересную картину. При

низкой степени гумификации торфов, законсервированных в многолетнемёрзлой толще, торфа сезонно-талого слоя, особенно почвы краевой зоны пятна, отличаются средней величиной ПГТ. Верхние горизонты СТС почвы склона торфяного бугра, где идёт процесс современного накопления сфагнового торфа, также характеризуются низкой степенью гумификации. Низкая степень гумификации СТС почвы пятна (за исключением верхнего 0–20 см слоя) подтверждает существенную роль процессов пучения в её формировании и выносе нижних слоёв ММП на дневную поверхность в пределах торфяных пятен [9, 14].

Заключение

По морфологическому строению, ботаническому составу и особенностям органического вещества торфа выявлено трёхуровневое строение почвенно-геокриологического комплекса многолетнемёрзлых торфяников как системы «сезонно-талый слой – верхний слой ММП – нижний слой ММП». Верхние многолетнемёрзлые горизонты, по сути, являются аналогом переходного слоя между СТС почвы и нижележащей торфяной эпигенетически промёрзшей толщей. В процессе формирования и эволюции торфяников они включаются в процессы промерзания – оттаивания в соответствии с циклическими периодами похолодания – потепления. С криогенными процессами тесно связано формирование оголённых торфяных пятен, почвы которых по составу органического вещества и параметрам гумусного состояния отличаются от почв их краевой зоны и склонов торфяного бугра, имеющих хорошо развитый мохово-кустарничковый покров. В почвах пятен ниже кислотность, выше степень разложения и гумификации органического вещества торфа. Отсутствие растительного покрова на торфяных пятнах согласуется с низким содержанием в почве легкоминерализуемых органических соединений, обеспечивающих растения азотом и питательными элементами.

Параметры гумусного состояния, оцениваемые по данным фракционно-группового состава гумуса, хорошо маркируют условия формирования сезонно-талых слоёв и многолетнемёрзлых пород в почвах бугристых торфяников юго-востока Большеземельской тундры. Наиболее показательными в этом отношении являются: соотношение гуминовых и фульвокислот, соотношение фракций в составе группы гуминовых кислот, абсолютное и относительное содержание углерода водораствори-

мых органических соединений. Показано, что для многолетнемерзлых торфяных отложений характерно резкое преобладание ГК над ФК (соотношение Сгк:Сфк > 2), а в составе группы ГК – фракции ГК-3, представленной органическими соединениями, переходящими в 0.02 н щелочную вытяжку при повторной обработке ею образцов торфа при нагревании.

Учитывая современные прогнозы потепления климата, существование оголённых пятен на торфяных буграх может способствовать деградации многолетней мерзлоты в плоскобугристых болотах, широко распространённых на южном пределе криолитозоны.

Работа выполнена при поддержке проекта ПРООН ГЭФ 00059042 и гранта РФФИ 14-05-31111 мол_а «Многолетнемерзлые торфяники Большеземельской тундры: экологическое состояние почвенно-мерзлотного комплекса при климатическом потеплении в 21 веке».

Литература

- Hugelius G., Virtanen T., Kaverin D., Pastukhov A., Rivkin F., Marchenko S., Romanovsky V. and Kuhry P. High-resolution mapping of ecosystem carbon storage and potential effects of permafrost thaw in periglacial terrain, European Russian Arctic // J. Geophys. Res. 2011. V. 116. G03024. doi: 10.1029/2010JG001606.
- Пьявченко Н.И. Бугристые торфяники. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 280 с.
- Попов В.А. Почвы бугристых торфяников Крайнего Севера // Материалы по почвам Коми АССР (почвы равнинных и горных территорий Коми АССР и их плодородие). Сыктывкар. 1974. С. 10–16.
- Атлас почв Республики Коми / Под ред. Г.В. Добровольского, А.И. Таскаева, И.В. Забоевой. Сыктывкар. 2010. 356 с.
- Русанова Г.В., Денева С.В., Канев В.В. Почвы Северо-Запада Большеземельской тундры (бассейн р. Ортин) // Почвоведение. 2004. № 7. С. 791–803.
- Trans-Ural Polar Tour. Guidebook / G. Mazhitova and E.M. Lapteva (eds.). Syktyvkar, Publishing Service Institute of Biology KSC UD Russian Academy of Sciences, 2004. 54 p.
- Алексеева Р.Н., Канев В.В., Кюхри П., Оксанен П. Мерзлотные торфяники восточноевропейской лесотундры // Почвоведение. 1998. № 5. С. 570–576.
- Максимова Л.Н., Оспенников Е.Н. Эволюция болотных систем и мерзлотных условий Большеземельской тундры в голоцене // Криосфера Земли. 2012. Т. 16. № 3. С. 53–61.
- Каверин Д.А., Пастухов А.В. Генетическая характеристика мерзлотных оголённых пятен на плоскобугристых торфяниках Большеземельской тундры // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3. С. 55–62.
- Christensen T.R., Johansson T., Akerman H.J., Mastepanov M., Malmer N., Friborg T., Crill P., Svensson B.H. Thawing sub-arctic permafrost: Effects on vegetation and methane emissions // Geophys. Res. Lett. 2004. V. 31. L04501. doi: 10.1029/2003GL018680.
- Hollesen J., Elberling B., Jansson P.E. Future active layer dynamics and carbon dioxide production from thawing permafrost layers in Northeast Greenland // Glob. Change Biol. 2011. V. 17. P. 911–926. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02256.x.
- Пастухов А.В., Каверин Д.А. Запасы почвенного углерода в тундровых и таёжных экосистемах Северо-Восточной Европы // Почвоведение. 2013. № 9. С. 1084–1094.
- Государственная почвенная карта России. Масштаб 1 : 1000000. Пояснительная записка к листу Q-41 (Воркута). Сыктывкар, 2011. 76 с.
- Шамрикова Е.В., Каверин Д.А., Пастухов А.В., Лаптева Е.М., Кубик О.С., Пунегов В.В. Водорастворимые органические кислоты торфяных мерзлотных почв юго-востока Большеземельской тундры // Почвоведение. 2015. № 3. С. 288–295.
- ГОСТ 17644-83 Торф. Методы отбора проб из залежи и обработки их для лабораторных испытаний. М.: Издательство стандартов, 1983. 14 с.
- Воробьёва Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
- Пономарёва В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). М.: Наука, 1980. 222 с.
- Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918–926.
- Осадчая Г.Г., Тумель Н.В. Локальные ландшафты как индикаторы геоэкологической зональности (на примере европейского Северо-Востока) // Криосфера Земли. 2012. Т. 16. № 3. С. 62–71.
- Routh J., Gustaf H., Kuhry P., Filley T., Tillman P.K., Becher M., Crill P.M. Multi-proxy study of soil organic matter dynamics in permafrost peat deposits reveal vulnerability to climate change in the European Russian Arctic // Chemical Geology. 2014. V. 368. P. 104–117.
- Фоминых Л.А., Золотарёва Б.Н., Холодов А.Л., Ширшова Л.Т. Фракционно-групповой состав гумуса почв тундровой зоны Евразии // Криосфера Земли. 2009. Т. 13. № 2. С. 44–54.
- Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Куценогий К.П., Онучин А.А., Переседов В.Ф. Биогеохимия Fe, Mn, Cr, Ni, Co, Ti, V, Mo, Ta, W, U в низинном торфянике на междуречье Оби и Томи // Почвоведение. 2003. № 5. С. 557–567.
- Шамрикова Е.В. Кислотность почв таёжной и тундровой зон Европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 2013. 160 с.