

В. А. Безносиков, Е. Д. Лодыгин

ФРАКЦИОННО-ГРУППОВОЙ СОСТАВ ГУМУСА КРИОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-ГЛЕЕВЫХ И ГИДРОМОРФНЫХ ПОЧВ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ

Введение

Интерес к гумусовым веществам непрерывно нарастает, причем не только у специалистов в области почвоведения и агрономии, но и ряда отраслей знаний, зачастую довольно далеко отстоящих от проблем почвоведения. В частности, исследования гумусовых кислот оказываются востребованными при решении многих проблем палеогеографии и палеоклиматологии, инженерной геологии, океанологии, медицины и физиологии, геохимии, а также при решении некоторых технических вопросов [1].

Территория Европейского северо-востока России — типичный мерзлотный регион циркумполярного пояса земли. Суровые климатические условия тундры способствуют глубокому промерзанию почвогрунтов, накоплению в них больших запасов холода, образованию многолетней мерзлоты. Влияние мерзлоты на почвообразование отмечалось многими исследователями [2–8]. Начатые в 1942 г. Е. Н. Ивановой и О. А. Полянцевой углубленные исследования почв на северо-востоке Европейской части позволили впервые дать систематическое описание почв Воркутинского района (восточная часть Большеземельской тундры). Они отметили основные моменты тундрового почвообразования: возникновение близкого к поверхности переувлажненного оглеенного тиксотропного слоя, развитие поверхностного оглеения в условиях элювиального почвообразования, не сопровождающегося накоплением органической массы [2]. Специальные исследования органического вещества тундровых глеевых почв [6, 9] показали, что в его составе преобладают вещества неспецифической природы; в специфической части фульвокислоты (ФК) резко преобладают над гуминовыми кислотами (ГК).

В почвах, расположенных в зоне многолетней мерзлоты, протекает своеобразный комплекс процессов, связанных с влиянием низких температур. Образование слоев льда (шпиров) в почве приводит к разрыву капилляров, вследствие чего прекращается подтягивание влаги из надмерзлотных горизонтов к корнеобитаемому слою. Наличием мерзлого слоя вызван целый ряд механических изменений в почвенном профиле, таких как криотурбация и солифлюкция. Криогенная деформация приводит к образованию характерного для тундр мелкобугорковатого рельефа пучения — нанорельефа, что обуславливает геохимическую дифференциацию органических веществ в результате латерального и вертикального стоков.

Имеющиеся экспериментальные данные показывают, что для плакорных почв тундры характерны: подстилкообразование и поверхностное гумусообразование при слабой интенсивности распада органических остатков и процессов гумификации [10–11]; кислая реакция среды и фульватный характер гумуса; слабый, преимущественно латеральный вынос небольшого количества элементов, мобилизованных при разложении опада и выветривании первичных минералов [2, 3, 5]. По И. А. Соколову почва обладает

сенсорностью и рефлекторностью по отношению к условиям природной среды, причем не только почва в целом, но и отдельные ее компоненты [12].

Биоклиматические условия тундрового почвообразования определяют специфический состав гумусовых веществ. Однако гетерогенность соединений этих классов не позволяет с достаточной степенью уверенности судить о геохимической дифференциации высокомолекулярных органических соединений в почвах криолитозоны. К настоящему времени имеются работы, посвященные исследованию структуры и трансформации ГВ в условиях таежного почвообразования [1, 13–16], однако подобные исследования для почв тундровых ландшафтов единичны.

Цель данной работы — выявить специфику фракционно-группового состава гумуса в криогенных поверхностно-глеевых и гидроморфных почв Большеземельской тундры.

Объекты и методы исследования

Исследования проведены в Большеземельской тундре в Воркутинском районе Республики Коми, где распространена массивно-островная многолетняя мерзлота [17]. Территория представляет полого-увалистую равнину, покрытую чехлом покровных пылеватых суглинков мощностью менее 10 м [18].

Объекты исследований — плакорные почвы: поверхностно-глеевые, поверхностно-глеевые освоенные (южная кустарниковая тундра); торфянисто-глеевые, торфяно-глеевые (типичная мохово-лишайниковая тундра).

Почвы южной кустарниковой тундры

Разрез 12-ж. Разрез заложен на верхней части пологого склона водораздельного моренного увала Нерусовой-мусюр. Сеянный мятликово-лисохвостный бессемянный луг — возраст 53 года.

A _{дер.}	0–5 см	На поверхности почвы слаборазложившийся растительный материал, нижняя часть — суглинок средний, буровато-серый, комковато-порошистой структуры, переплетен корнями трав, переход ясный.
A ₁ B _g	5–10 см	Суглинок средний, буровато-сизый, листоватой структуры, тиксотропный, немногочисленные корни, переход постепенный.
B _g	10–35 см	Суглинок средний, светло-бурый с сизыми пятнами, листоватая структура, встречаются железистые конкреции, нижняя граница хорошо выражена по структуре.
B ₁	35–60 см	Суглинок средний, бурый, мелко-ореховатая структура, рассыпается на структурные отдельные, по граням обильная белесая присыпка, переход постепенный.
B ₂	60–105 см	Тяжелый суглинок, бурый, сверху ореховатой, внизу комковато-слоевой структуры, белесая присыпка, более влажный, чем B ₁ , слабо тиксотропный, переход выраженный.
BC _g	105–130 см	Суглинок средний, влажный, на буром фоне сизые и ржавые зоны, структура плитчатая.

Почва: тундровая поверхностно-глеевая освоенная на суглинистых почвообразующих породах.

Разрез 9-ж. Разрез заложен в 50 м от разреза 12-ж. Пологий склон моренного увала. Ивняково-ерниковая моховая мелкобугорковатая тундра, в покрове преобладают гипновые мхи, примесь политриховых, единичные экземпляры карликовой березки, кустарнички брусники, осоковые встречаются редко.

A ₀	0–5 см	Черно-бурая полуразложившаяся торфянистая подстилка, плотно переплетена корнями кустарников и злаков.
A ₀ Ah	5–10 см	Переходный от торфянистой подстилки к глеевому горизонту, средний суглинок, серовато-бурый с примесью торфянистых частиц, порошистый, переплетен корнями, переход ясный.
G	10–25 см	Средний суглинок, ржаво-сизый, влажный, бесструктурный, переход постепенный.
GB ₁	25–55 см	Средний суглинок, буровато-палевый с сизыми и ржавыми пятнами, влажный, слоегато-мелкокомковатый, тиксотропный, обилие железистых новообразований, переход постепенный.
B ₁	55–87 см	Средний суглинок палево-светло-бурый, белесая кремнеземистая присыпка, оглеение морфологически не обнаружено, структура ореховатая, переход постепенный.
B ₂	87–120 см	Средний суглинок, структура ореховато-комковатая, слабая белесая присыпка, переход постепенный.
BCg	120–150 см	Суглинок сизовато-бурый, ржавые пятна, влажный, структура плитчато-ореховатая.

Почва: тундровая поверхностно-глеевая на суглинистых почвообразующих породах.

Таблица 1. Гранулометрический состав тундровых почв

Горизонт	Глубина, см	Размер фракции (мм) и их содержание (в %)						Сумма частиц <0,01
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	
Тундровая поверхностно-глеевая освоенная								
Bg	10–25	0,79	2,96	62,46	6,12	4,90	22,77	33,79
Bg	25–35	0,63	11,17	57,53	4,08	6,94	19,65	30,66
B ₁	35–60	1,11	3,57	61,07	5,70	5,70	22,85	34,25
B ₂	60–105	0,31	1,17	56,23	4,51	8,62	29,16	42,30
BCg	105–130	0,18	11,85	49,15	5,32	9,42	24,08	38,82
Тундровая поверхностно-глеевая								
G	10–20	0,24	0,40	68,22	5,68	7,72	17,74	31,14
GB ₁	35–55	0,19	7,79	57,83	6,92	5,70	21,57	34,19
B ₁	55–87	0,13	18,10	45,49	3,28	6,97	26,03	36,28
B ₂	87–120	0,05	0,46	61,37	5,73	3,68	28,71	38,12
BCg	120–130	0,04	33,41	27,01	5,32	6,55	27,67	39,54
Торфянисто-тундровая глеевая								
G	25–35	0,44	47,74	11,49	4,92	7,80	27,60	40,33
GB ₁	40–55	0,36	2,04	57,46	4,93	6,16	29,06	40,14
Bg	55–60	0,43	35,37	20,94	3,70	2,87	36,69	43,26
Торфяно-тундровая глеевая								
G _i	28–40	0,63	12,65	51,05	6,13	6,53	23,00	35,66
G ₁	40–50	0,66	12,58	51,54	3,27	8,18	23,77	35,22
G ₂	50–60	0,47	7,61	52,90	2,46	4,51	32,05	39,02

Тундровые поверхностно-глеевые почвы характеризуются морфологически дифференцированным профилем с двумя уровнями оглеения: в верхней части минеральной толщи — элювиально-глеевый и в нижней — глубинно-глеевый горизонты; глубоким залеганием многолетнемерзлых покровных суглинков около 1,5 м. Верхние горизонты G и GB₁ профиля тундровых поверхностно-глеевых почв по содержанию физической глины, в том числе и илистой фракции, имеют облегченный гранулометрический состав (табл. 1). Аналитические данные показывают (табл. 2), что тундровые поверхностно-глеевые почвы имеют кислую реакцию всего профиля. В подстилке и элювиально-глеевых горизонтах гидролитическая кислотность составляет 7,59–30,6 ммоль/100 г почвы и резко снижается в ВС до 1,78 ммоль/100 г. Профильное распределение содержания обменного кальция и магния в почвенной толще имеет бимодальный характер проявления: минимальное — в глеевых горизонтах, максимальное — в подстилке и почвообразующей породе.

Таблица 2. Агрохимическая характеристика почв

Горизонт	Глубина, см	pH _{кол.}	Нг, ммоль / 100 г	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺
				мг / 100 г		ммоль / 100 г	
<i>Тундровая поверхностно-глеевая освоенная</i>							
A _{дер.}	0–5	4,75	35,1	39,71	289,85	22,95	1,86
A ₁ B _g	5–10	3,74	11,0	3,34	17,68	3,65	0,44
B _g	25–35	3,65	10,3	5,48	22,46	2,30	1,08
B ₁	35–60	3,70	6,11	9,60	32,55	7,62	2,57
B ₂	60–105	3,85	3,33	16,32	43,63	15,40	6,33
BC _g	105–130	4,25	2,11	17,70	43,18	15,42	6,07
<i>Тундровая поверхностно-глеевая</i>							
A ₀	0–5	4,68	30,60	25,86	150,5	40,72	2,95
G	10–25	3,81	7,59	3,68	13,28	3,59	1,01
GB ₁	30–50	3,88	5,48	9,98	18,28	8,62	2,13
B ₁	55–85	4,07	2,74	18,21	26,40	16,51	4,52
B ₂	90–115	4,45	2,02	23,20	28,70	16,83	4,90
BC _g	120–130	4,65	1,78	25,89	48,00	18,0	5,08
<i>Торфянисто-тундровая глеевая</i>							
O	0–14	6,10	17,0	34,25	429,95	135,0	5,08
G	25–35	4,21	3,05	15,44	42,71	18,56	6,32
GB ₁	40–55	4,52	2,86	16,65	40,47	20,66	4,79
B _g	55–60	4,57	2,07	18,58	43,80	23,30	6,66
<i>Торфяно-тундровая глеевая</i>							
O	0–25	6,15	20,9	29,63	391,80	144,80	5,64
G _f	28–40	3,94	3,96	22,32	36,53	15,13	4,90
G ₁	40–50	4,02	3,05	26,77	43,01	16,83	5,58
G ₂	50–60	4,41	2,41	27,82	43,28	19,52	6,10

Почвы типичной мохово-лишайниковой тундры

Разрез 10-ж. Средняя часть юго-западного склона, уклон 3°. Ерниково-зеленомошный покров, политриховые и сфагновые мхи, лишайники, водяника, багульник, по бугоркам — морошка, голубика. Микрорельеф: бугорковатый — бугры высотой до 40 см, диаметром до 1,5 м. Межбугорковое понижение.

O ₁	0–7 см	Слаборазложившаяся моховая подстилка, темно-серая, обилие корней растений.
O ₂	7–14 см	Темно-серый, почти черный, в нижней части хорошо разложившийся торф.
O ₂ Ahg	14–17 см	Переходный, пылеватый средний суглинок, неоднородный по окраске: от темно-коричневого до серого с сизовато-бурым оттенком, структура неясно-порошистая.
G	17–40 см	Суглинок средний, ржаво-сизый, сырой, тиксотропный.
GB ₁	40–55 см	Тяжелый суглинок ярко-сизый с ржавыми пятнами, мерзлый, структура мелкоореховатая, имеются морозобойные трещины, заполненные гумусированным суглинком.
Bg	55–90 см	Бурый тяжелый суглинок, плотный, мерзлый, раскалывается на ореховатые структуры, множество Mп примазок, под ним потечно-гумусовый затек. На глубине 50–60 см — темное пятно зернистой структуры.

Почва: торфянисто-тундровая глеевая мерзлотная на суглинистых почвообразующих породах.

Разрез 11-ж. Описание места закладки разреза 11-ж аналогично разрезу 10-ж. Разрез заложен на бугорке.

O ₁	0–5 см	Торфянистая слаборазложившаяся подстилка, светло-коричневая, сфагново-политриховая, сырая.
O ₂	5–26 см	Слаборазложившаяся подстилка из мхов, книзу степень разложения увеличивается, темно-серый торф, свежий, рыхлый, переход ясный.
O ₂ Ahg	26–28 см	Переходный, пылеватый средний суглинок, неоднородный по окраске: от темно-коричневого до серого с сизовато-бурым оттенком, структура неясно порошистая.
G _f	28–40 см	Суглинок средний, ржаво-сизый, сырой, вязкий, тиксотропный.
G ₁	40–50 см	Средний суглинок ярко-серовато-сизый с ржавыми пятнами, мерзлый, структура мелкоореховатая, имеются морозобойные трещины, заполненные гумусированным суглинком. На глубине 46–62 см — темное пятно зернистой структурой.
G ₂	50–70 см	Средний суглинок, бурый, плотный, мерзлый, раскалывается на ореховатые структуры, криогурбированные разводы, под ним потечно-гумусовый затек.

Почва: торфяно-тундровая глеевая мерзлотная на суглинистых почвообразующих породах.

Торфянисто- и торфяно-тундровые глеевые почвы (криогидроморфные) формируются в подчиненных ландшафтах и приурочены к плоскоравнинным водораздельным увалам, понижениям, подножью склонов, к периферии болотных массивов. Морфологические особенности этих почв: наличие поверхностной торфяной подстилки (15–30 см) и четко выраженного глеевого тиксотропного горизонта; иллювиальная толща малой мощности; почвенный профиль слабо дифференцирован; деформация почвенного профиля, вызванная перемещением насыщенных влагой почвогрунтов при оттаивании и замерзании; замедленный биологический круговорот; низкая биологическая продуктивность; в почвах преобладают восстановительные условия. Процессы выщелачивания практически отсутствуют, в этих почвах отмечается значительное накопление полуторных оксидов алюминия, железа и марганца. Верхняя часть иллювиальной подстилки

лювиальной и криогенной зон являются геохимическими барьерами. Почвы обладают слабокислой реакцией среды органогенных горизонтов и кислой — минеральной толщи, высокой гидролитической кислотностью и особенно органической составляющей, низкой насыщенностью ППК основаниями. Гранулометрический состав: средний — тяжелый суглинок. Илистая фракция и физическая глина практически равномерно распределены по профилю почв, наблюдается некоторое увеличение данных фракций на границе мерзлого слоя (нижняя часть глеевого-тиксотропного горизонта).

Фракционно-групповой состав гумуса определяли по методу И. В. Тюрина в модификации В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой [19] со спектрофотометрическим окончанием [20]. Для сравнительной оценки гумусного состояния почв использовали систему показателей, предложенную Д. С. Орловым и О. Н. Бирюковой: 1) соотношение углерода гуминовых и фульвокислот ($C_{ГК}/C_{ФК}$), определяющие тип гумуса и являющиеся мерой глубины гумификации органического вещества; 2) отношение углерода гуминовых кислот к общему углероду ($C_{ГК}/C_{общ.}$) как показатель степени гумификации органического вещества; 3) содержание гумусовых веществ ($C_{ГВ} = C_{ГК} + C_{ФК}$) как характеристика растворимости органического вещества и содержание негидролизуемого остатка (Н. О.), рассматриваемого как пул органического вещества, потенциально доступного для трансформации [21].

Результаты исследования и их обсуждение

Информативность гумусового профиля основана на том, что гумус, обладая свойствами сенсорности и рефлекторности по отношению к природной среде, представляет собой открытую природную систему гумусовых веществ, которая формируется по законам термодинамики и способна к саморегуляции и самовосстановлению [22]. Гумусовые вещества делятся на три группы соединений: гуминовые кислоты, фульвокислоты и гумины (негидролизуемый остаток). Гуминовые кислоты подразделяются на фракции: свободные и связанные с подвижными полуторными оксидами (ГК-1); с обменным кальцием (ГК-2); с устойчивыми формами оксидов железа, алюминия и глинистыми минералами (ГК-3). Фульвокислоты, в свою очередь, разделяются на четыре фракции: три фракции фульвокислот, находящиеся в полимерных связях с гуминовыми кислотами соответствующих фракций и минеральными компонентами этих фракций, и одна фракция свободных ФК, связанная с подвижными полуторными оксидами — агрессивная фракция фульвокислот (ФК-1а) и негидролизуемый остаток.

Групповой и фракционный состав гумуса тундровых криповерхностно-глеевых и криогидроморфных почв представлен в табл. 3. Полученные данные дают возможность выявить особенности фракционно-группового состава гумуса и профильной дифференциации главных групп ГВ в изучаемых почвах.

Криповерхностно-глеевые почвы. Специфичность вертикального распределения гумуса в суглинистых поверхностно-глеевых почвах обусловливается криогенными процессами: режимом промерзания — оттаивания. Сезонномерзлый слой в весенне-летний период является временным водоупорным горизонтом, который перемещается вниз по профилю по мере протаивания толщи почвы. Это способствует длительному застою влаги в верхней части минерального слоя профиля, переувлажнению, вследствие наличия в нем тиксотропных свойств и низкой фильтрующей способности. С наступлением морозного периода нисходящий ток почвенных растворов прерыва-

ется криогенной (морозной) миграцией влаги, направленный к фронту промораживания.

Анализируя полученные материалы, можно отметить, что профили, как поверхностно-глеевой освоенной, так и целинных почв имеют одинаковый характер вертикального распределения гумуса, несмотря на некоторые количественные колебания содержания органического углерода. Данные показывают, что для процесса вертикальной дифференциации органического вещества криповерхностно-глеевых почв характерно равномерно-убывающий характер гумуса. Для грубогумусных аккумулятивных горизонтов поверхностно-глеевых почв выражена резкая локализация органического вещества в небольших по мощности слоях (0–5 см). Содержание органического вещества в этих горизонтах довольно высокое. Массовая доля углерода в поверхностно-глеевых почвах (целина) составила 14,8%, в то время как в поверхностно-глеевой освоенной почве отмечен рост содержания углерода в органогенном горизонте на 3,8%, по сравнению с целинным аналогом. Это, по-видимому, связано с освоением целинных тундровых поверхностно-глеевых почв и трансформации их под мятликово-лисохвостный луг. В освоенных почвах горизонт $A_{дер.}$ морфологически представляет собой с поверхности обилие слаборазложившегося растительного материала (мятликово-лисохвостный опад и их корни), ниже — бурый подгоризонт (2–3–5 см), который густо переплетен корнями трав, что является источником органического вещества.

Сопоставляя данные по содержанию в гумусе исследованных почв фракций ГК и ФК, следует отметить преобладание в гумусе фульвокислот по всему профилю (рисунок). В группе гуминовых кислот в почвах преобладает первая фракция ГК, в то время как вторая фракция ГК находится в незначительном количестве или полностью отсутствует. Закономерности распределения третьей фракции ГК находятся в соответствии с первой фракцией, однако, ее содержание меньше. В группах фульвокислот в количественном отношении выделяются фракции 1 и 3, находящиеся в связях с соответствующими фракциями ГК и минеральными компонентами. Значительное количество ФК приурочено к минеральным горизонтам. В минеральных горизонтах эти фракции находятся довольно в большом количестве, особенно в тундровой поверхностно-глеевой освоенной почве.

Распределение углерода ГК по профилю имеет аккумулятивный тип, что обусловлено гидрофобной природой молекул ГК и, как следствие, их низкой миграционной способностью.

Сумма фракций ФК, наоборот, увеличивается в минеральной толще по причине гидрофильности молекул ФК и их вымывания из верхних горизонтов. Распределение различных фракций ФК неодинаково: фракции 1а и 1 имеют элювиально-иллювиальный тип, фракция 2 практически отсутствует, а фракция 3 имеет элювиальный тип.

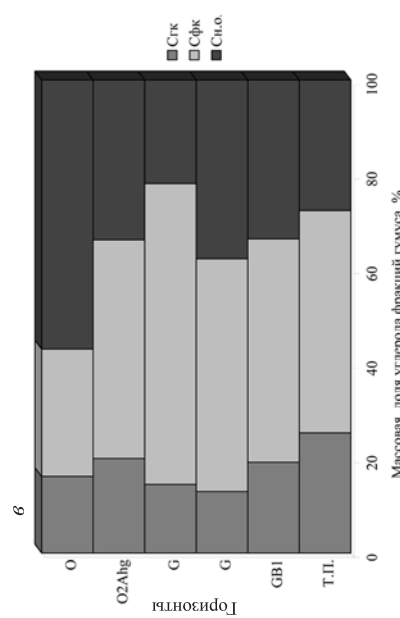
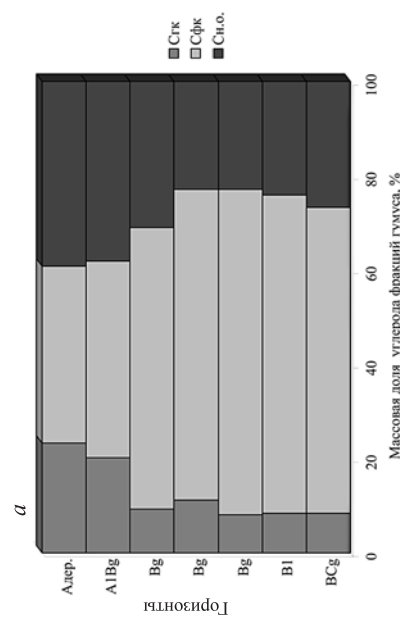
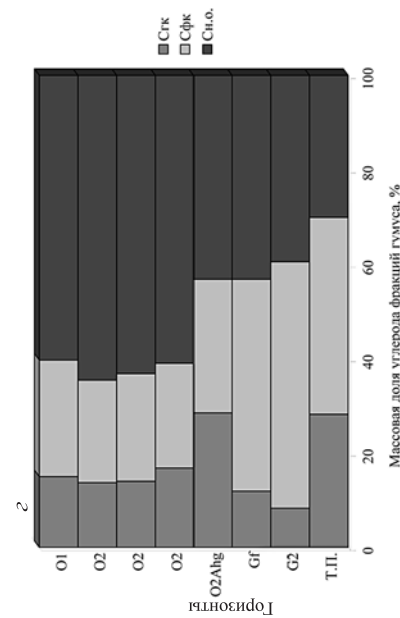
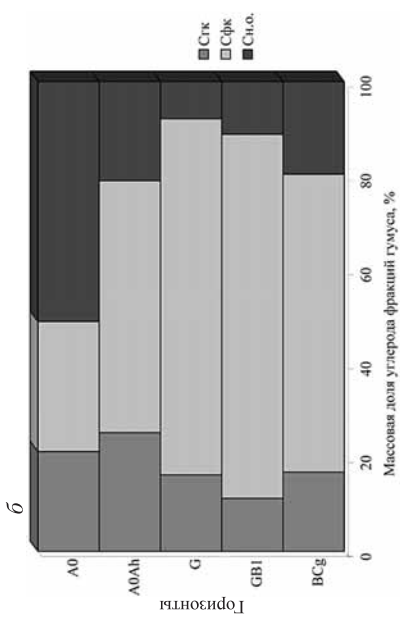
Третья группа гумусовых веществ представлена негидролизующим остатком. Его доля в гумусе исследованных почв сильно варьируется. В органогенных горизонтах (A_0 , $A_{дер.}$) содержание негидролизующего остатка составляет 40–54% от $C_{орг.}$, что обусловлено высоким содержанием негумифицированных органических остатков. Причем в тундровой дерновой поверхностно-глеевой почве доля $C_{н.о.}$ в органогенном горизонте на 14% ниже, чем в неосвоенном аналоге, что обусловлено более интенсивным процессом гумификации в освоенной почве. В минеральных горизонтах доля $C_{н.о.}$ резко снижается до 8–23% и содержание данной фракции обусловлено способностью молекул гумусовых кислот связываться с минеральной матрицей почвы, образуя гумин.

Таблица 3. Фракционно-групповой состав гумуса тундровых почв

Горизонт	Глубина, см	С _{орг.} , %	С _{гк}			С _{фк}			С _{гк} / С _{фк}	С _{гк} / С _{орг.} , %	С _{н.о.}
			1	2	3	1а	1	2			
<i>Тундровая поверхность-глевая освоенная</i>											
A _{пер.}	0-5	18,6 ± 1,9	3,3 ± 0,5 18 ± 3	0,36 ± 0,07 1,9 ± 0,4	0,64 ± 0,13 3,4 ± 0,8	0,77 ± 0,15 4,2 ± 0,9	2,8 ± 0,6 15 ± 3	0,43 ± 0,09 2,3 ± 0,5	2,9 ± 0,6 16 ± 4	0,62 ± 0,17	7,3 ± 2,1 39 ± 12
A ₁ Bg	5-10	3,9 ± 0,6	0,67 ± 0,13 17 ± 4	0	0,13 ± 0,03 3,2 ± 0,8	0,19 ± 0,04 4,7 ± 1,2	0,75 ± 0,15 19 ± 5	0	0,70 ± 0,14 18 ± 4	0,49 ± 0,21	1,5 ± 0,6 38 ± 17
Bg	10-15	1,24 ± 0,25	0,079 ± 0,016 6,4 ± 1,8	0	0,036 ± 0,007 2,9 ± 0,8	0,095 ± 0,019 7,7 ± 2,2	0,24 ± 0,05 20 ± 6	0	0,40 ± 0,08 32 ± 9	0,16 ± 0,20	0,39 ± 0,27 32 ± 23
Bg	15-20	0,99 ± 0,20	0,072 ± 0,014 7,2 ± 2,0	0	0,040 ± 0,008 4,0 ± 1,1	0,079 ± 0,016 7,9 ± 2,2	0,22 ± 0,04 23 ± 6	0	0,35 ± 0,07 35 ± 10	0,17 ± 0,20	0,23 ± 0,22 23 ± 23
Bg	25-30	0,77 ± 0,15	0,030 ± 0,006 3,9 ± 1,1	0,018 ± 0,004 2,3 ± 0,7	0,015 ± 0,003 1,9 ± 0,5	0,054 ± 0,011 7,0 ± 2,0	0,17 ± 0,03 23 ± 6	0	0,30 ± 0,06 39 ± 11	0,12 ± 0,18	0,18 ± 0,17 23 ± 24
B ₁	35-40	0,49 ± 0,10	0,033 ± 0,007 6,8 ± 1,9	0,008 ± 0,003 1,6 ± 0,5	0	0,022 ± 0,004 4,5 ± 1,3	0,083 ± 0,017 17 ± 5	0	0,22 ± 0,04 46 ± 13	0,12 ± 0,22	0,12 ± 0,11 24 ± 24
BCg	125-130	0,40 ± 0,08	0,022 ± 0,004 5,4 ± 1,5	0	0,012 ± 0,003 3,0 ± 0,8	0	0,028 ± 0,006 6,9 ± 2,0	0	0,24 ± 0,05 58 ± 16	0,13 ± 0,23	0,11 ± 0,09 26 ± 26
<i>Тундровая поверхность-глевая</i>											
A ₀	0-5	14,8 ± 1,5	1,8 ± 0,4 12,4 ± 2,8	0,084 ± 0,016 0,57 ± 0,13	1,22 ± 0,24 8,3 ± 1,8	0,32 ± 0,06 2,2 ± 0,5	1,9 ± 0,4 13,1 ± 2,9	0,096 ± 0,019 0,65 ± 0,14	1,7 ± 0,3 11,7 ± 2,6	0,77 ± 0,19	7,5 ± 0,6 51 ± 12
A ₀ Ah	5-10	2,1 ± 0,4	0,25 ± 0,5 12 ± 4	0,065 ± 0,013 3,2 ± 0,9	0,21 ± 0,04 10,1 ± 2,9	0,16 ± 0,03 7,6 ± 2,2	0,50 ± 0,10 24 ± 7	0	0,45 ± 0,09 22 ± 6	0,48 ± 0,18	0,43 ± 0,44 21 ± 23
G	10-15	0,55 ± 0,11	0,044 ± 0,009 8,0 ± 2,3	0,010 ± 0,003 1,8 ± 0,5	0,036 ± 0,007 6,5 ± 1,8	0,043 ± 0,009 7,8 ± 2,2	0,105 ± 0,021 19 ± 5	0	0,27 ± 0,05 49 ± 14	0,21 ± 0,19	0,04 ± 0,13 8 ± 25
GB ₁	25-30	0,44 ± 0,09	0,027 ± 0,005 6,1 ± 1,7	0,010 ± 0,003 2,3 ± 0,6	0,013 ± 0,003 2,9 ± 0,8	0,020 ± 0,004 4,5 ± 1,3	0,073 ± 0,005 16 ± 5	0	0,25 ± 0,05 57 ± 16	0,14 ± 0,20	0,05 ± 0,10 11 ± 26
BCg	125-130	0,36 ± 0,07	0,018 ± 0,004 5,1 ± 1,4	0,021 ± 0,004 5,9 ± 1,7	0,021 ± 0,004 5,9 ± 1,7	0	0,012 ± 0,003 3,4 ± 1,0	0	0,21 ± 0,04 60 ± 17	0,27 ± 0,22	0,07 ± 0,08 20 ± 26

<i>Торфянисто-тундровая глеевая</i>												
О	0-14	24,9±2,5	<u>1,43±0,29</u> 5,7±1,3	<u>0,53±0,11</u> 2,1±0,5	2,1±0,4 8,4±1,9	<u>0,66±0,13</u> 2,7±0,6	2,9±0,4 8,2±1,8	<u>0,97±0,19</u> 3,9±0,9	<u>3,0±0,5</u> 12,1±2,2	0,60±0,16	16,2±2,6	<u>1,41±2,6</u> 57±11
O ₂ Ahg	14-17	1,31±0,26	<u>0,060±0,012</u> 4,6±1,3	<u>0,090±0,018</u> 6,9±1,4	<u>0,112±0,022</u> 8,5±2,4	<u>0,093±0,019</u> 7,1±2,0	<u>0,141±0,028</u> 11±3	<u>0,119±0,024</u> 9,1±2,6	<u>0,25±0,05</u> 19±5	0,44±0,16	20±5	<u>0,45±0,27</u> 34±21
G	20-25	0,47±0,09	<u>0,014±0,003</u> 3,0±0,8	<u>0,034±0,007</u> 7,2±2,0	<u>0,020±0,004</u> 4,3±1,2	<u>0,045±0,009</u> 9,6±2,7	<u>0,101±0,020</u> 21±6	0	<u>0,15±0,03</u> 33±9	0,23±0,18	14±3	<u>0,10±0,10</u> 22±23
G	35-40	0,69±0,14	<u>0,021±0,004</u> 3,0±0,9	<u>0,051±0,010</u> 7,4±2,1	<u>0,018±0,004</u> 2,6±0,7	<u>0,050±0,010</u> 7,2±2,0	<u>0,046±0,009</u> 6,6±1,9	<u>0,044±0,009</u> 6,4±1,8	<u>0,20±0,04</u> 29±8	0,26±0,18	13±3	<u>0,26±0,15</u> 37±22
GB ₁	45-50	0,55±0,11	<u>0,020±0,004</u> 3,6±1,0	<u>0,068±0,014</u> 12±4	<u>0,020±0,004</u> 3,6±1,0	<u>0,045±0,009</u> 8,2±2,3	<u>0,023±0,005</u> 4,2±1,2	<u>0,043±0,009</u> 7,8±2,2	<u>0,15±0,03</u> 27±8	0,42±0,18	20±5	<u>0,19±0,12</u> 34±22
Т. П.	50-60	1,32±0,26	<u>0,108±0,022</u> 8,2±2,3	<u>0,115±0,023</u> 8,7±2,5	<u>0,112±0,022</u> 8,5±2,4	<u>0,043±0,009</u> 3,3±0,9	<u>0,18±0,04</u> 13,3±3,8	<u>0,032±0,006</u> 2,4±0,7	<u>0,37±0,07</u> 28±8	0,54±0,18	25±6	<u>0,36±0,28</u> 27±22
<i>Торфяно-тундровая глеевая</i>												
O ₁	0-5	30±3	<u>1,11±0,22</u> 3,7±0,8	<u>1,35±0,27</u> 4,5±1,0	2,0±0,4 6,8±1,5	<u>1,09±0,22</u> 3,7±0,8	2,9±0,6 9,8±2,2	<u>0,17±0,03</u> 0,57±0,13	<u>3,2±0,5</u> 10,6±1,9	0,61±0,16	15,0±2,3	<u>18±3</u> 60±11
O ₂	5-10	30±3	<u>0,78±0,16</u> 2,6±0,6	<u>1,6±0,3</u> 5,4±1,2	1,7±0,3 5,7±1,3	<u>0,94±0,19</u> 3,2±0,7	2,3±0,5 7,6±1,7	<u>0,034±0,007</u> 0,115±0,026	<u>3,2±0,5</u> 10,8±1,9	0,63±0,16	13,7±2,2	19±3 65±11
O ₂	10-15	24,0±2,4	<u>0,91±0,18</u> 3,8±0,8	<u>0,82±0,16</u> 3,4±0,8	1,6±0,3 6,8±1,5	<u>0,76±0,15</u> 3,2±0,7	1,9±0,4 7,8±1,8	<u>0,36±0,07</u> 1,5±0,3	<u>2,5±0,5</u> 10,3±2,3	0,62±0,17	14,1±2,2	<u>15,1±2,5</u> 63±11
O ₂	15-20	29,1±2,9	<u>1,7±0,3</u> 5,9±1,3	<u>0,79±0,16</u> 2,7±0,6	2,4±0,5 8,2±1,8	<u>0,56±0,11</u> 1,9±0,4	2,4±0,5 8,1±1,8	<u>0,26±0,05</u> 0,88±0,20	<u>3,3±0,5</u> 11,3±2,0	0,76±0,16	16,8±2,7	18±3 61±11
O ₂ Ahg	26-28	6,8±0,7	<u>0,89±0,18</u> 13,1±2,9	<u>0,58±0,12</u> 8,6±1,9	<u>0,46±0,09</u> 6,8±1,5	<u>0,21±0,04</u> 3,1±0,7	<u>0,96±0,19</u> 14±3	0	<u>0,76±0,15</u> 11,2±2,5	1,01±0,18	29±4	<u>2,9±0,8</u> 43±11
G _f	30-35	0,66±0,13	<u>0,026±0,005</u> 3,9±1,1	<u>0,026±0,005</u> 3,9±1,1	<u>0,027±0,005</u> 4,1±1,2	<u>0,060±0,012</u> 9,1±2,6	<u>0,018±0,004</u> 2,7±0,8	<u>0,014±0,003</u> 2,1±0,6	<u>0,20±0,04</u> 31±9	0,27±0,18	12±3	<u>0,29±0,14</u> 43±22
G ₂	55-60	0,46±0,09	<u>0,011±0,003</u> 2,4±0,7	<u>0,015±0,003</u> 3,3±0,9	<u>0,012±0,003</u> 2,6±0,7	<u>0,033±0,007</u> 7,3±2,1	0	<u>0,013±0,003</u> 2,9±0,8	<u>0,19±0,04</u> 42±12	0,16±0,20	8,4±1,9	<u>0,18±0,10</u> 39±23
Т. П.	46-62	1,7±0,3	<u>0,115±0,023</u> 6,9±1,9	<u>0,17±0,03</u> 10,3±2,9	<u>0,19±0,04</u> 11±3	<u>0,079±0,016</u> 4,7±1,3	<u>0,15±0,03</u> 9,0±2,5	<u>0,18±0,04</u> 11±3	<u>0,29±0,06</u> 17±5	0,68±0,16	28±7	<u>0,5±0,3</u> 30±22

Примечание. В числителе указана массовая доля в % к почве, в знаменателе — в % к C_{орг.} в почве. Т. П. — темное пятно; Н. О. — гидролизный остаток.



Массовая доля углерода фракций гумуса в тундровых почвах:
 а — тундровая поверхностно-глебовая освоенная; б — тундровая поверхностно-глебовая; в — торфянисто-тундровая глеевая;
 г — торфяно-тундровая глеевая.

Криогидроморфные почвы. Гумусовый профиль криогидроморфных почв, сформированных на суллинистых породах, создается комплексом процессов: криогенный массообмен, мерзлотная ретинизация, гумусонакопление за счет разложения главным образом корневого опада *in situ*. Распределение органического углерода по профилю криогидроморфных почв имеет аккумулятивно-потечно-иллювиальный характер с максимумом содержания его в гумусо-аккумулятивном горизонте (гор. О) и резким уменьшением $C_{орг.}$ в горизонте G. Ведущим компонентом среди основных фракций почв ГВ являются ФК. Степень гумификации органического вещества слабая, содержание гуминовых кислот, связанных с Ca^{2+} очень низкое, состав гумуса гуматно-фульватный в горизонте О (O_2Ahg), в остальной части минеральной толщи — фульватный. В надмерзлотном слое увеличивается содержание $C_{орг.}$ и растворимость ГВ ($C_{ГК}+C_{ФК}$) до 56–67% и расширяется отношение $C_{ГК}/C_{ФК}$. Увеличение содержания $C_{орг.}$ и ГВ связано с криогенной денатурацией и трансформацией дисперсных ГВ в жестких условиях промерзания, высокой контрастностью термического режима и особенно в горизонте O_2Ahg тундровой торфяно-глеевой почвы. Горизонт O_2Ahg является для криогидроморфных почв субгоризонтом, образующимся в результате внутрипочвенного гумусонакопления. Данный горизонт формируется на мерзлотной подошве верхней части горизонта G. Внутрипочвенное гумусонакопление в горизонте O_2Ahg происходит за счет миграции растворов ГВ из верхней части подстилки (мерзлотная ретинизация) с последующей деградацией (криогенная денатурация) и коагуляцией дисперсных гумусовых систем, а также за счет термокапиллярного перемещения ГВ к фронту промораживания. Данный горизонт, с одной стороны, является водупором, а с другой «насосом», обуславливающий возвратное перемещение (подтягивание) и внутрипочвенное закрепление части растворенных ГВ в верхней части профиля в осенне-зимний период [6, 8].

ГК тундровых торфянисто- и торфяно-глеевых почв представлены всеми фракциями с преобладанием свободных (фракция 1) и прочно связанных с глинистыми минералами (фракция 3). Наиболее упрощенные по строению (слабополимеризованные соединения) и более подвижные ГК-1, связанные с полуторными оксидами, составляют основную часть ГВ в группе ГК и, особенно в торфяно-глеевой почве. Высокое содержание обменных оснований, сравнительно низкая гидролитическая кислотность в криогидроморфных почвах способствуют увеличению доли гуминовых кислот, связанных с кальцием (ГК-2), от 6–8% в горизонте G до 7–9% в горизонте O_2Ahg от $C_{орг.}$. Для сравнения в составе гумуса поверхностно-глеевых почв ГК-2 практически отсутствует. Поскольку гуматы кальция аккумулируются на месте своего образования и не способны к миграции в водных растворах с кислой, нейтральной и слабощелочной реакцией, появление их на глубине 40–50 см почвенного профиля может рассматриваться как современный процесс гумусообразования, или как процесс, свидетельствующий о реликтовости гумуса, образование которого протекало в иной биоклиматической обстановке.

В распределении по профилю фульвокислот отмечаются флуктуации. Наименьшая доля ФК отмечается в органогенном горизонте (26–27% от $C_{орг.}$), наибольшая в тиксо-тропном слое — 55–64%. В группе фульвокислот преобладают лабильные и связанные с устойчивыми формами оксидов железа, алюминия и глинистыми минералами фракции (1+3). Гумус суглинистых криогидроморфных почв отличается незначительным количеством фракции 1а, обладающей наибольшей подвижностью и фракции 2, связанной с кальцием. При этом следует отметить, что дифференциация качественного состава гумуса достаточно ярко выражена на границе раздела между минеральной

и органической частями профиля. Минеральная часть профиля пропитана главным образом фульватным органическим веществом и особенно это рельефно проявляется в тундровой торфянисто-глеевой почве. В криогидроморфных почвах в горизонте G увеличивается растворимость и подвижность органических веществ, мощность пропитанного гумусом минерального тиксотропного слоя. В весенне-летний периоды высокая переувлажненность, особенно в верхней части тиксотропного горизонта, обуславливает увеличение потечности гумуса, что приводит к растянутости гумусового профиля почв. В морозные периоды года почвенные растворы концентрируются в нижней части тиксотропного горизонта благодаря вымораживанию влаги и дальнейшей коагуляции и перевода их в плохорастворимое состояние. Именно с этими процессами, по утверждению И. Б. Арчевой, связано повышенное содержание в тиксотропном горизонте фракции 3 фульвокислот и подвижной фракции 1 [6].

В последнее десятилетие появились работы, показывающие, что гумусовый профиль фиксирует все, даже кратковременные изменения природной среды и четко отражает стадии и фазы развития почв, которые можно диагностировать и при отсутствии явно выраженных морфологических реликтовых признаков.

Наличие в минеральных горизонтах второй фракции гуминовых кислот, связанных с кальцием (1–6% от $C_{орг.}$) свидетельствует, по-видимому, о реликтовости гумуса. Известно, что нахождение этой фракции в горизонтах В-ВСg мерзлотных почв Большеземельской тундры и незначительное количество негидролизуемого остатка в них говорит об иных условиях почвообразования в прошлые этапы голоцена [23]. Согласно палеогеографическим данным, в это время на дренируемых участках господствовали злаково-разнотравные сообщества, таежные экосистемы. Подтверждением служат погребенные дерново-подзолистые иллювиально-глинистые почвы (6030 ± 170 лет назад), обнаруженные в 5,5 км к северо-востоку от Воркуты [24].

В разрезах криогидроморфных почв на глубине 50–62 см в зоне активного развития криогенных процессов в тиксотропном горизонте обнаружены темно-серые пятна зернистой структуры, прокрашенные органическим веществом. Обращает внимание сравнительно высокое содержание в гумусированных пятнах фракции гуминовых кислот, связанных с кальцием (9–10%). Особенностью пятен также является повышенное содержание органического углерода и увеличение отношения $C_{ГК}/C_{ФК}$, по сравнению с верхними сопредельными горизонтами, что не характерно для почв с простым (моногоенетичным) профилем. Аккумулятивный характер ГК-пятен (в пятнах ГК составляют 25–28% от суммы $C_{орг.}$), трансаккумулятивный и мигрирующий компоненты ФК (часть ФК может связываться в комплексы с ГК, а часть мигрировать по профилю) определяют процессы формирования нижней части профиля и гумусовых пятен. По данным Е. В. Каллас, М. И. Дергачевой эти показатели гумусовых веществ являются более рефлекторными по отношению к природной среде по сравнению с морфологическим профилем и являются устойчивыми признаками, которые могут использоваться в качестве маркера стадий и фаз почвообразования [25, 26].

Глинистые натеки (пятна) в срединных горизонтах свидетельствуют об их реликтовой текстурной дифференциации, что связано с резким похолоданием в суббореальный период. Резкое похолодание сопровождалось погребением почв, осадконакоплением и началом следующего этапа почвообразования под тундровыми сообществами [24]. Высокие величины показателей гумификации свидетельствуют в пользу авторморфных условий образования темных пятен.

Заключение

Таким образом, гумусообразование и формирование фракционно-группового состава гумуса тундровых почв происходит в жестких климатических условиях, что определяет специфику количественного и качественного состава органического вещества. Характерной особенностью исследованных почв, сформированных на суглинистых породах, является высокое содержание углерода в грубогумусовых органо-аккумулятивных горизонтах и резкое его снижение с глубиной. Состав гумуса гуматно-фульватный в органогенных горизонтах и фульватный в остальной части минеральной толщи. Криоповерхностно-глеевые почвы характеризуются высокой растворимостью, слабой и средней степенью гумификации органического вещества. Гумусовый профиль криогидроморфных почв создается комплексом процессов: криогенный массообмен, мерзлотная ретинизация, криогенная денатурация и коагуляция дисперсных гумусовых систем. Распределение органического углерода по профилю криогидроморфных почв имеет аккумулятивно-потечно-иллювиальный характер с максимумом его содержания в гумусо-аккумулятивном горизонте. Степень гумификации органического вещества слабая, содержание гуминовых кислот, связанных с Ca^{2+} , очень низкое. В надмерзлотном слое увеличивается содержание $\text{C}_{\text{орг}}$, растворимость ГВ и расширяется отношение $\text{C}_{\text{ГК}}/\text{C}_{\text{ФК}}$.

* * *

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты №10-04-01247, 11-04-00086).

Литература

1. Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 325 с.
2. Иванова Е. Н., Польшцева О. А. Почвы Европейских тундр // Труды Коми филиала АН СССР. Вып. 1. 1952. С. 72–122.
3. Караваяева Н. А. Тундровые почвы Северной Якутии. М.: Наука, 1969. 208 с.
4. Таргульян В. О. Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях. М.: Наука, 1971. 268 с.
5. Игнатенко И. В. Почвы Восточноевропейских тундры и лесотундры. Л.: Наука, 1979. 280 с.
6. Арчегова И. Б. Особенности гумусообразования в почвах Воркутинской тундры. Сыктывкар, 1972. 60 с.
7. Забоева И. В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар, 1975. 344 с.
8. Фоминых Л. А., Золотарева Б. Н., Пинский Д. Л. Сравнительный анализ палеопочв в древних ландшафтах севера России // Криосфера Земли. 2010. Т. XIV, № 2. С. 56–68.
9. Гришина Л. А. Особенности формирования органического вещества почв в условиях криогенеза // Проблемы почвенного криогенеза. Сыктывкар: Коми филиал АН СССР, 1985. С. 49–50.
10. Барановская А. В. Особенности гумусообразования и состава гумуса в почвах Коми АССР // Труды Коми филиала АН СССР. Сер. геогр. Вып. 1. 1952. С. 113–125.
11. Василевская В. Д. Почвообразование в тундрах Средней Сибири. М.: Наука, 1980. 235 с.
12. Соколов И. А. Пространственно-временная организация педосферы и ее эволюционно-экологическая обусловленность // Почвоведение, 1993. № 7. С. 12–22.
13. Чуков С. Н. Структурно-функциональные параметры органического вещества почв в условиях антропогенного воздействия. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001. 216 с.
14. Чимитдоржиева Г. Д. Гумус холодных почв: экологические аспекты. Новосибирск: Наука, 1990. 201 с.

15. *Попов А. И.* Гуминовые вещества: свойства, строение, образование. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2004. 248 с.
16. *Дергачева М. И.* Гумусовая память почв // Память почв: почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 530–560.
17. *Геокриологическая* карта СССР. Масштаб 1:2,5 млн / под ред. Е. Д. Ершова, К. А. Кондратьевой. М.: Министерство геологии СССР, МГУ. 1998.
18. *Карта* четвертичных отложений. Серия Северо-Уральская. Лист Q-41-V. Масштаб 1:200 000 / Автор Енокян В. С. М.: Министерство геологии и охраны недр СССР, 1959.
19. *Пономарева В. В., Плотникова Т. А.* Методика и некоторые результаты фракционирования гумуса черноземов // Почвоведение, 1968. № 11. С. 104–117.
20. *ГОСТ 26213–91.* Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР. 8 с.
21. *Орлов Д. С., Бирюкова О. Н.* Система показателей гумусного состояния почв // Методы исследования органического вещества почв. М.: Россельхозакадемия — ГНУ ВНИПТИОУ, 2005. С. 6–17.
22. *Дергачева М. И.* Органическое вещество почв: статика и динамика. Новосибирск: Наука, 1984. 155 с.
23. *Золотарева Б. Н., Фоминых Л. А., Шишова Л. Т., Холодов А. А.* Состав гумуса мерзлотных почв Большеземельской и Колымской тундр // Почвоведение, 2009. № 1. С. 42–56.
24. *Русанова Г. В., Лаптева Е. М., Пастухов А. В., Каверин Д. А.* Современные процессы и унаследованные педогенные признаки в почвах на покровных суглинках южной тундры // Криосфера Земли. 2010. Т. XIV, № 3. С. 52–60.
25. *Каллас Е. В.* Гумусовые профили почв озерных котловин Чулымо-Енисейской впадины. Новосибирск: Гуманитарные технологии, 2004. 170 с.
26. *Каллас Е. В., Дергачева М. И.* Гумусовый профиль почв как отражение стадийности почвообразования // Сибирский экологический журнал. 2007. № 5. С. 711–717.

Статья поступила в редакцию 10 октября 2011 г.