

ГЕНЕЗИС  
И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.41

ПОЧВЫ И ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ ГОРНО-ТУНДРОВЫХ ЛАНДШАФТОВ  
ПОЛЯРНОГО УРАЛА НА КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ: РАЗНООБРАЗИЕ,  
КЛАССИФИКАЦИЯ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛЕРОДА И АЗОТА<sup>1</sup>

© 2020 г. Е. В. Шамрикова<sup>а</sup>, \*, Е. В. Жангуров<sup>а</sup>, Е. Е. Кулюгина<sup>а</sup>,  
М. А. Королев<sup>а</sup>, О. С. Кубик<sup>а</sup>, Е. А. Туманова<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,  
ул. Коммунистическая, 28, Сыктывкар, 167982 Россия

\*e-mail: shamrik@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 30.12.2019 г.

После доработки 11.03.2020 г.

Принята к публикации 01.04.2020 г.

На примере ландшафтов северной части хребта Большой Пайпудынский, относящемуся к Полярному Уралу, выявлено классификационно-номенклатурное разнообразие почв на карбонатных породах, обусловленное как биоклиматическими, так и геогенными факторами (рельефом, мощностью элювиально-делювиальных отложений карбонатных пород). Показано, что под различными типами растительных сообществ формируются почвы постлитогенного ствола из отделов криометаморфических (Calcaric Skeletic Regosol), литоземов (Calcaric Mollic Folic Leptosol), органо-аккумулятивных (Calcaric Mollic Leptic Stagnosol; Calcaric Folic Gleysol), занимающие незначительные ареалы и мелкочетные сочетания. Масса органических форм углерода и азота в наземной фитомассе (НФ) растений составляет 40–49 и 0.9–2.3% соответственно. Запасы сырой НФ колеблются в диапазоне 20–1600 г/м<sup>2</sup>. В каждом профиле поверхностные горизонты имеют максимальное содержание органического углерода и азота (до 40 и до 2.5% соответственно). Выявлены закономерности распределения C<sub>орг</sub> и N<sub>орг</sub> в почвах в связи с различной продуктивностью растительных сообществ, спецификой состава опада и условий его разложения. Во всех почвенных профилях содержание C<sub>неорг</sub> возрастает с глубиной, достигая 12%. Доля минерального азота не превышает 1%. Максимальное количество N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> и N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> приходится на поверхностные горизонты, где их концентрации достигают 140 и 30 мг/кг.

**Ключевые слова:** карбонаты, Урал, классификация почв, диагностические горизонты, наземная фитомасса, органический углерод, неорганический углерод, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

**DOI:** 10.31857/S0032180X20090154

ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени основные представления по почвам Полярного Урала получены по наиболее легко достижимым в транспортном отношении районам и ограничиваются материалами единичных маршрутных почвенно-географических исследований [1, 7, 38, 40]. В качестве преобладающих типов почв различных горных хребтов Полярного Урала на Государственной почвенной карте масштаба 1 : 1000000 (лист Q-41 “Воркута”) представлены горно-тундровые пропитанно-гумусовые (оподзоленные), горно-тундровые глеевые [14]. На примере кислых и ультраосновных пород показаны генетические особенности почвообразования и

классификационно-номенклатурное разнообразие почв [16, 22, 27].

Значительная часть территории северной части (65°40′–68°30′ с. ш.) Уральского горного хребта в силу своей труднодоступности остается малоизученной. Существенные размеры региона, особенности геоморфологии и сложно расчлененный рельеф обуславливают значительное биоразнообразие наземных экосистем, а широкое распространение различных по генезису и происхождению горных почвообразующих пород определяют существенное разнообразие различных типов и подтипов почв [16, 55].

Одними из наименее исследованных на Полярном Урале являются почвы, сформированные на продуктах выветривания плотных карбонатных пород. Актуальность исследований подоб-

<sup>1</sup> Дополнительная информация для этой статьи доступна по doi 10.31857/S0032180X20090154 для авторизованных пользователей.

ных объектов определяется не только региональной значимостью, но и необходимостью решения ряда фундаментально-научных задач с учетом современных наработок субстантивно-генетической классификации почв России. Сравнительно-географический анализ данных научной литературы, охватывающей различные природные зоны Восточно-Европейской равнины, Уральской горной страны, Среднесибирского плоскогорья, центральной и южной Якутии, Саян, отражает существенные отличия таежных почв континентальных областей на карбонатных породах от их аналогов в гумидных (субгумидных) областях умеренно-континентального климата [3, 12, 18, 24, 48]. Более того, почвы на известковых породах отличаются и от зональных аналогов, и друг от друга [12, 13, 21]. Широкое разнообразие карбонатных почв определяется природой субстрата (щебнистость, гранулометрический состав), что закладывает в каждую группу пород заданную лимитированность проявления тех или иных почвообразовательных процессов. Кроме того, разнообразие карбонатных почв зависит от потенциала климата и биоты (“закон литогенной матричности”) [11, 18].

Наряду со слабой изученностью компонентов почвенного покрова в геохимически сопряженных ландшафтах, актуальной задачей современности является выявление роли органического вещества в процессах почвообразования. В тундровой зоне неоднородность распределения органических форм углерода и азота в почвах тесно взаимосвязана с мозаичностью растительности [28–30, 42, 43]. В этой связи Полярный Урал с широким развитием массивно- и редкоостровных многолетнемерзлых пород является одним из наиболее перспективных и приоритетных объектов для почвенно-географических исследований.

Цель работы – выявление разнообразия, морфогенетической характеристики и закономерностей распределения различных форм углерода и азота в почвах, сформированных на элювиально-делювиальных отложениях карбонатных пород (Полярный Урал).

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Район исследований располагается в Полярно-Уральской горной почвенной провинции тундровой зоны Европейской полярной почвенно-биоклиматической области [33]. В системе геоботанического районирования он расположен в Южнополярноуральском округе Камско-Печорско-западноуральской подпровинции Урало-западносибирской провинции [9]. В растительности округа выделяется три высотных пояса: подгольцовый (горных редколесий), горно-тундровый и гольцовый. Полевые работы проводили в последней декаде августа 2018 г. в северной части хребта Большой Пайпудынский (рис. 1).

Климат района гумидный континентальный, характерны резкие колебания сезонных и суточных температур. Количество осадков в зависимости от высоты горных массивов сильно варьирует и составляет 600–800 мм/год [45].

Для этой территории, как и для других северных массивов Полярного Урала, характерны отложения сланцевых и эффузивных толщ метаморфического комплекса, содержащих сланцы, фельзиты, кварцито-песчаники. Ключевые участки были заложены в северной части хребта Большой Пайпудынский на правом берегу руч. Развильный, где широко развиты выходы массивных мраморизованных известняков на дневную поверхность имеющих нижнедевонский возраст [41]. Полевые исследования проводили методом заложения почвенно-геоморфологического профиля (катены) с протяженностью около 1.5 км (рис. 2). В качестве непосредственных объектов исследования выбрано семь ключевых участков в горно-тундровом поясе на высотном профиле от коренного берега руч. Развильный (1-ПУ, координаты: 67°13'28.7" N; 65°28'39.8" E) до плато в верхней части склона (8-ПУ, координаты: 67°13'33.3" N; 65°38'04.8" E).

В каждой из точек наблюдения были заложены опорные разрезы, характеризующие основные типы и подтипы почв, сформированных на элювиально-делювиальных отложениях карбонатных пород. При морфологическом описании индексация горизонтов и классификация почв дана в соответствии с [35] и Международной реферативной базой почв [31]. Окраска горизонтов определена по шкале Манселла [58].

Изучение растительного покрова территории проводили с использованием методов закладки пробных площадей и маршрутных наблюдений (табл. 1). При выборе и описании пробных площадок использовали общепринятые геоботанические методы [4]. Количество надземной фитомассы растительных сообществ определяли методом укосов – изъятия надземных частей растений с учетных площадок размером 50 × 50 см в трехкратной повторности. Растения срезали на уровне границы почвы, затем в полевых условиях взвешивали сырую биомассу.

Химический состав почв и фитомассы приведен в табл. 2. Содержание общего углерода ( $C_{\text{общ}}$ ) и азота ( $N_{\text{общ}}$ ) измерена на CHNS-O-элементном анализаторе EA 1110 (Carlo Erba, Италия). Объемно-метрическим методом с помощью кальциметра 08.53 Eijkelkamp (SA07, США-Нидерланды) выполнено определение содержания карбонатов с последующим пересчетом на неорганический углерод почв ( $C_{\text{неорг}}$ ). Содержание минеральных форм азота ( $N-NH_4^+$ ,  $N-NO_3^-$ ) измерено фотометрическим методом на фотометре фотоэлектрическом КФК-3 (Россия).

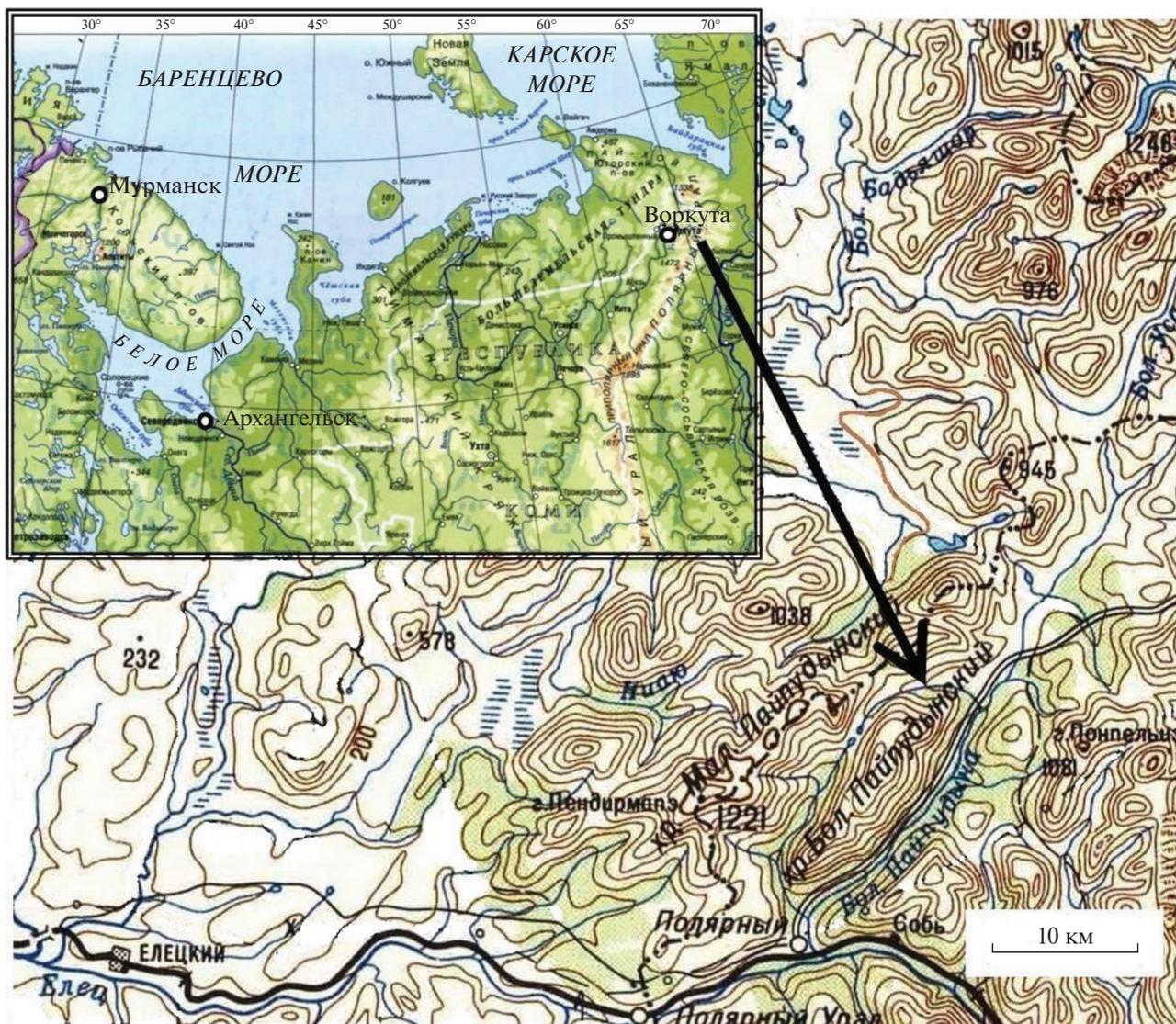


Рис. 1. Район исследований.

Разложение проб почв для нахождения содержания кислоторастворимых форм К, Na, Ca, Mg, Al, Fe в горизонтах ВС и С темногумусовой почвы (6-ПУ) проведено методом микроволнового вскрытия с использованием СВЧ-минерализатора “Минотавр-2” (Россия, ООО “Люмэкс”). Данный прием предполагает разложение почв смесью концентрированных растворов азотной кислоты и перекиси водорода в соотношении 10 : 1 при  $t = 200^{\circ}\text{C}$  под давлением восемь атмосфер (табл. 3). Содержание элементов в пробах измерено методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой Spectro Ciros SPECTROARCOS.

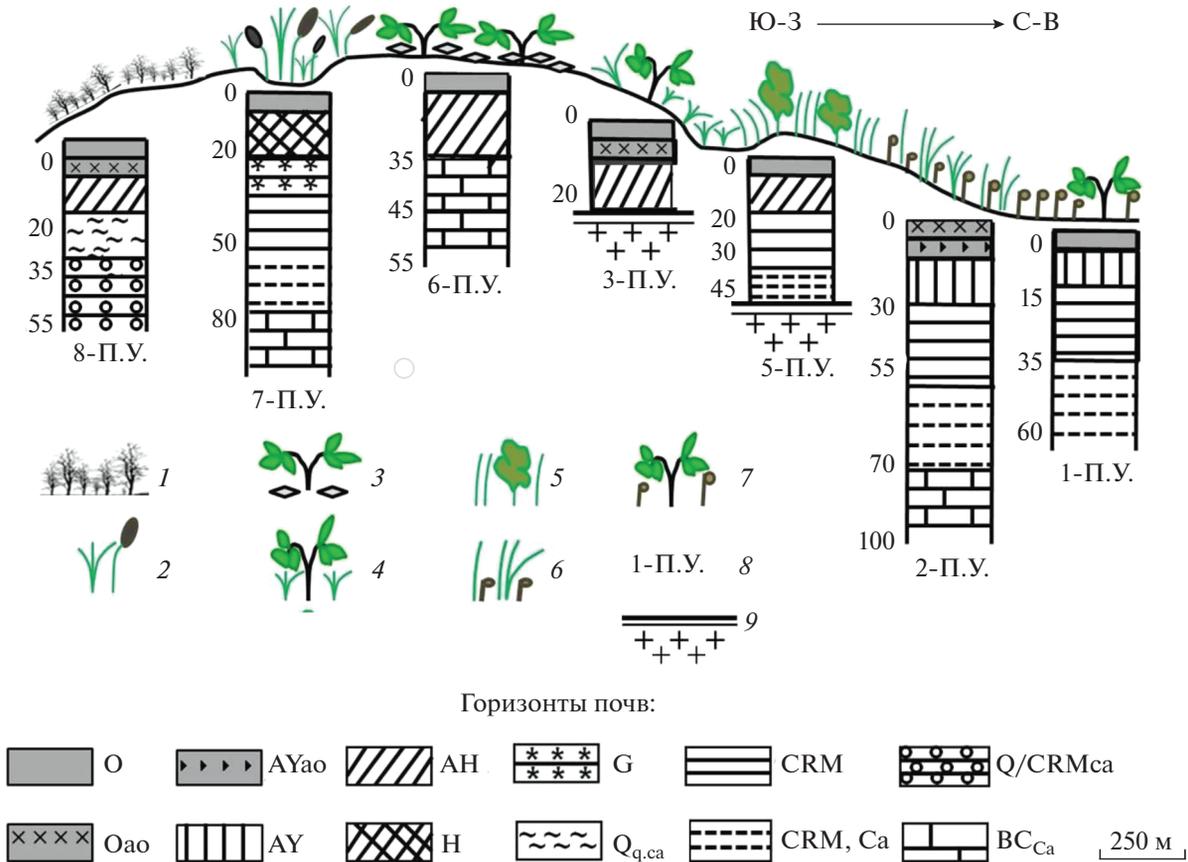
Углерод и азот органических соединений ( $C_{\text{орг}}$ ,  $N_{\text{орг}}$ ) почв рассчитаны по разности содержаний общих и неорганических форм элементов. Значения

$pH$  почв измерены на иономере универсальном Анион-4100 (Россия).

Аналитические данные получены в лаборатории Экоаналит, а также отделе почвоведения Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Растительный покров.** Исследуемые почвы горной тундры приурочены к разным элементам мезорельефа и формируются под различными типами растительных сообществ (табл. 1). В фитоценозах, приуроченных к разрезам, отмечено 20 кальцефильных видов (19 – сосудистые растения, 1 вид лишайников), показывающих специфику подстилающих пород [2, 23, 48]. По снижению разнообразия видов, избирательных к карбонатным субстратам, сообщества можно расположить в



**Рис. 2.** Распределение объектов исследований на ландшафтно-геоморфологическом профиле. Условные обозначения: 1 – кустарничково-дриадово-моховое сообщество; 2 – высокотравный луг; 3 – дриадовая тундра; 4 – дриадово-травяное сообщество; 5 – травяно-ивковое сообщество; 6 – разнотравно-осоково-моховое сообщество; 7 – дриадово-моховая тундра; 8 – № почвенного разреза; 9 – подстилки плит.

следующий ряд: разнотравно-осоково-моховые (число видов кальцефилов больше 10) → различные варианты кустарничковых тундр (пятнистые кустарничково-дриадово-моховые, дриадово-травяные, травяно-ивковые, кустарничково-дриадово-моховые) (число кальцефилов 6–9) → высокотравные луговые (число кальцефилов менее 5). Кроме того, некоторые виды, произрастающие на этих субстратах относятся к редким, включенным в Красную Книгу Ямало-Ненецкого автономного округа: *Rhodiola quadrifida* и *Pinguicula alpina* – категория 3, *Carex fuscidula* и *Carex glacialis* – список бионадзора.

Сочетание ландшафтно-геоморфологических условий изучаемой территории, наряду со спецификой карбонатных почвообразующих пород создает предпосылки для формирования экосистем, различающихся по своим функциональным характеристикам. Важным фактором, определяющим видовой состав и структуру сообщества, а, следовательно, и влияющим на запасы фитомассы в экосистеме, является его положение в рельефе, что определяет температуру, мощность

зимнего снегового покрова и степень увлажненности почвы в вегетационный сезон [17]. Запасы надземной фитомассы растительных сообществ различаются существенно, можно выделить две группы. Первую группу с наиболее высокими значениями показателя составляют высокотравный луг (7-ПУ) и кустарничково-дриадово-моховая тундра (8-ПУ) – 1648 и 1500 г/м<sup>2</sup> соответственно. Высокотравный луг формируется в верхней части склона в небольшом (20 на 20 м) понижении на наиболее оснеженных зимой и увлажненных летом позициях. В травяно-кустарничковых и травяной экосистемах преобладают растения, надземные органы которых, как правило, полностью или большей частью отмирают к концу вегетационного сезона.

Вторая группа объединяет растительные сообщества (1–6-ПУ), у которых запасы наземной фитомассы колеблются в диапазоне 18–180 г/м<sup>2</sup>.

Минимальные значения продуктивности характерны для полигональной дриадовой тундры (6-ПУ), формирующейся в элювиальных условиях верхней части предгорного увала (рис. 2). Жиз-

Таблица 1. Характеристика растительных сообществ исследуемой территории и их биологическая продуктивность

№ разреза	Название сообщества; абсолютная высота, м над уровнем моря	ОПП/первый ярус/второй ярус, %	Высота растительного покрова: первый ярус/второй ярус, см	Доминирующий комплекс видов		Виды-кальцефиты	Надземная фитомасса (сырая), г/м <sup>2</sup>
				первый ярус	второй ярус		
1-ПУ	Пятнистые дриадово-моховые тундры; 230 м над ур. м.	60/60/30	20/1	<i>Dryas octopetala</i> L., <i>Oxytropis sordida</i> (Willd.) Pers., <i>Salix glauca</i> L., <i>Empetrum hermaphroditum</i> Hagerup	<i>Rhytidium rigosum</i> (Hedw.) Kindb., мхи рода <i>Dicranum</i>	<i>Dryas octopetala</i> L., <i>Hedysarum arcticum</i> B. Fedtsch., <i>Carex glacialis</i> Mackenz., <i>Pedicularis oederi</i> Vahl, <i>Saxifraga oppositifolia</i> L., <i>Thalictrum alpinum</i> L.	90.8 ± 0.9*
2-ПУ	Разногравно-осоково-моховое сообщество; 235 м над ур. м.	100/70/70	25/1	<i>Carex sabynensis</i> Less, ex Kunth, <i>Silene acaulis</i> (L.) Jacq., <i>Hedysarum arcticum</i> B. Fedtsch	Мхи рода <i>Dicranum</i>	<i>Dryas octopetala</i> L., <i>Salix reticulata</i> L., <i>Carex capillaris</i> L., <i>Carex sabynensis</i> Less, ex Kunth, <i>Carex redowskiana</i> (C. A. Mey.) Egor., <i>Hedysarum arcticum</i> B. Fedtsch., <i>Silene acaulis</i> (L.) Jacq., <i>Thalictrum alpinum</i> L., <i>Oxytropis sordida</i> (Willd.) Pers., <i>Pedicularis oederi</i> Vahl, <i>Selaginella selaginoides</i> (L.) Link, <i>Pinguicula alpina</i> L., <i>Potentilla crantzii</i> (Crantz) G. Beck ex Fritsch, <i>Tofieldia coccinea</i> Richards., <i>Tofieldia pusilla</i> (Michx.) Pers., лишайник – <i>Vulpicida juniperinus</i> (L.) J.-E. Mattsson et M. J. Lai	68.4 ± 3.7
3-ПУ	Дриадово-гравяное сообщество; 246 м над ур. м.	50/50/—	5/—	<i>Dryas octopetala</i> L., <i>Silene acaulis</i> (L.) Jacq	—	<i>Dryas octopetala</i> L., <i>Salix reticulata</i> L., <i>Carex capillaris</i> L., <i>Carex glacialis</i> Mackenz., <i>Hedysarum arcticum</i> B. Fedtsch., <i>Silene acaulis</i> (L.) Jacq., <i>Thalictrum alpinum</i> L., <i>Saxifraga oppositifolia</i> L., <i>Tofieldia coccinea</i> Richards	112.8 ± 4.8

Таблица 1. Продолжение

№ разреза	Название сообщества; абсолютная высота, м над уровнем моря	ОПП/первый ярус/второй ярус, %	Высота растительного покрова: первый ярус/второй ярус, см	Доминирующий комплекс видов		Виды-кальцефиты	Надземная фитомасса (сырая), г/м <sup>2</sup>
				первый ярус	второй ярус		
5-ПУ	Травяно-ивковое сообщество; 246 м над ур. м.	100/5/100	40/10	<i>Betula nana</i> L.	<i>Salix reticulata</i> L., <i>Dryas octopetala</i> L., <i>Hedysarum arcticum</i> B. Fedtsch., <i>Silene acaulis</i> (L.) Jacq., <i>Thalictrum alpinum</i> L., <i>Selaginella selaginoides</i> (L.) Link.	<i>Dryas octopetala</i> L., <i>Salix reticulata</i> L., <i>Carex capillaris</i> L., <i>Hedysarum arcticum</i> B. Fedtsch., <i>Silene acaulis</i> (L.) Jacq., <i>Thalictrum alpinum</i> L., <i>Selaginella selaginoides</i> (L.) Link.	179.4 ± 37.1
6-ПУ	Полигональные дриадовые тундры; 264 м над ур. м.	25/25/—	10/—	<i>Dryas octopetala</i> L.	—	<i>Dryas octopetala</i> L., <i>Salix reticulata</i> L., <i>Carex capillaris</i> L., <i>Carex glacialis</i> Mackenz., <i>Silene acaulis</i> (L.) Jacq., <i>Oxytropis sordida</i> (Willd.) Pers., <i>Saxifraga oppositifolia</i> L., <i>Tofieldia coccinea</i> Richards.	18.1 ± 1.2
7-ПУ	Высототравный луг; 261 м над ур. м.	100/100/+	80/—	<i>Angelica archangelica</i> L.	—	<i>Carex redowskiana</i> (C. A. Mey.) Egor.	1648.8 ± 599.2
8-ПУ	Кустарничково-дриадово-моховое сообщество; 260 м над ур. м.	100/80/90	20/5	<i>Dryas octopetala</i> L., <i>Salix reticulata</i> L., <i>Betula nana</i> L., <i>Carex arctisibirica</i> (Jurtz.) Czer., <i>Salix phylicifolia</i> L., <i>Vaccinium uliginosum</i> L.	<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt., <i>Tomentypnum nitens</i> (Hedw.) Loeske, <i>Rhytidium rugosum</i> (Hedw.) Kindb., <i>Dicranum</i> sp.	<i>Dryas octopetala</i> L., <i>Salix reticulata</i> L., <i>Carex redowskiana</i> (C. A. Mey.) Egor., <i>Carex glacialis</i> Mackenz., <i>Oxytropis sordida</i> (Willd.) Pers., <i>Pedicularis oederi</i> Vahl., <i>Tephrosia heterophylla</i> (Fisch.) Konechn., <i>Tofieldia coccinea</i> Richards.	1539.1 ± 350.4

Примечание. ОПП — общее проективное покрытие; \* — стандартное отклонение среднеарифметического, “—” — отсутствует, “+” — менее 1%.

Таблица 2. Особенности морфологического строения и физико-химическая характеристика почв

Горизонт	Глубина, см	Цвет по шкале Манселла	Гранулометрический состав (полевое определение), структура (размер структурных отделностей)	pH <sub>H2O</sub>	C <sub>неорг</sub>			C <sub>орг</sub>	N <sub>общ</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	C/N
					%							
Разрез 1-ПУ. Дерново-криометаморфическая остаточно-карбонатная почва (Calcarg Skeletic Regosol Loamic)												
Фитомасса												
O	0–1	–	–	–	<0.06**	44.3	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	44
AY1	1–5	10YR3/3*; 4/3	Легкий суглинок, бесструктурный	6.67		17.7	0.94	73.93	10.90	0.00	18	
AY2	5–15	10YR 4/3	Легкий суглинок, мелкокомковатая структура	7.33	0.06	3.3	0.24	7.17	0.00	0.00	16	
CRM1	15–35	10YR5/4*; 6/6	Средний суглинок, линзовидно-слоистая структура (5–8 мм), мелкокомковатые структурные отделности 4–7 мм	7.72	0.61	0.6	0.072	3.13	0.00	0.00	9	
CRM2ca	35–60	10YR6/2*; 5/6	Тяжелый суглинок, бесструктурный	7.90	0.52	0.2	0.050	2.61	0.00	0.00	6	
Пятно без растительности (правая часть передней стенки разреза 1-ПУ)												
C	0–1	10YR 5/4	Легкий суглинок, линзовидно-слоистая структура, размер с.о. 2–3 мм	7.84	0.19	1.2	0.105	4.32	0.00	0.00	13	
AY@	1–5	10YR 4/3	Средний суглинок, линзовидно-слоистая структура, размер с.о. 3–5 мм	7.87	<0.06	1.1	0.084	3.13	0.00	0.00	16	
AY@	5–20	10YR 5/4	Тяжелый суглинок, бесструктурный	7.57	0.22	0.5	0.052	2.95	0.00	0.00	11	
CRMca	20–30	10YR 6/2		7.89	0.58	0.3	0.046	2.50	0.00	0.00	8	
BCca	30–60	–		8.05								
Разрез 2-ПУ. Дерново-криометаморфическая остаточно-карбонатная почва (Calcarg Skeletic Regosol Loamic)												
Фитомасса												
Oao	0–2	–	–	–	<0.06	42.1	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	28
AYao	2–5	10YR 2/1	Легкий суглинок, мелкокомковатая структура	7.00	0.08	24.6	1.72	126.88	7.20	0.00	17	
AY1	5–15	10YR 3/2	Легкий суглинок, бесструктурный	6.71	0.49	13.1	1.09	59.70	9.68	0.00	14	
AY2	15–30	10YR 3/2	Легкий суглинок, мелкокомковатая структура	7.47	0.91	3.8	0.29	5.35	0.00	0.00	15	
CRM1	30–55	10YR 4/3	Легкий-средний суглинок, тонколитчатая (3–4 мм) структура	7.62	0.65	0.3	0.036	2.56	0.00	0.00	11	
CRM2ca	55–70	10YR 4/6	Тонкозернистый песок	7.92	0.11	0.2	0.036	2.67	0.00	0.00	9	
BCca	70–100	2.5Y 4/2		7.95	0.40	0.0	0.024	2.16	0.00	0.00	8	
				8.10							2	

Таблица 2. Продолжение

Горизонт	Глубина, см	Цвет по шкале Манселла	Гранулометрический состав (полевое определение), структура (размер структурных отделностей)	pH <sub>H2O</sub>	C <sub>неорг</sub>		C <sub>орг</sub>	N <sub>общ</sub>	мг/кг			
					%	%			N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	C/N	
Разрез 3-ПУ. Карболитозем перегнойно-темногумусовый (Calcaric Mollic Folic Leptosol (Humic))												
Фитомасса	—	—	—	—	<0.06	48.5	1.98	0.00	0.00	0.00	28	
O	0–2	—	—	7.22	0.1	24.0	1.29	50.60	3.53	22		
Oao	2–4	10YR 2/1	—	7.40	0.3	18.5	1.17	35.23	3.83	18		
AN1	4–15	10YR 2/2	Легкий суглинок, комковато-зернистая структура	7.50	0.6	5.7	0.52	18.15	0.00	13		
AN2	15–20	10YR 3/2	—	7.69	0.4	5.3	0.49	17.03	—	12		
Разрез 5-ПУ. Перегнойно-темногумусовая криометаморфическая остаточно-карбонатная почва (Calcaric Mollic Leptic Stagnosol Skeletic)												
Фитомасса	—	—	—	—	<0.06	44.0	1.89	0.00	0.00	27		
O	0–2	—	—	6.90	30.2	30.2	1.96	135.98	10.28	18		
AN1	2–5	—	—	6.59	11.0	11.0	0.98	35.80	—	13		
AN2	5–15(20)	—	—	6.97	7.6	7.6	0.69	15.88	—	13		
CRM1	15(20)–30	—	Средний суглинок, линзовидно-слоистая структура, мелкокомковатые. с.о.	7.40	1.8	1.8	0.15	4.82	—	14		
CRM2ca	30–45	—	—	7.73	0.66	0.9	0.13	3.30	—	8		
Разрез 6-ПУ. Перегнойно-темногумусовая остаточно-карбонатная почва (Calcaric Leptic Skeletic Regosol)												
Фитомасса	—	—	—	—	<0.06	42.0	0.94	0.00	0.0	52		
O	0–1	—	—	7.57	7.03	16.6	0.87	49.45	10.90	22		
AN1	1–10(15)	10YR 4/3	Супесчаный, бесструктурный	8.04	8.11	3.5	0.32	14.18	0.00	13		
AN2	10(15)–25	10YR 3/3*; 3/1	Супесчаный, бесструктурный	8.08	5.02	7.4	0.54	13.60	—	16		
AN3	25–35	10YR 2/1	Легкий суглинок, мелкозернистая структура	7.98	4.40	7.7	0.62	12.45	—	14		
BCsa	35–45	10YR 8/1	Тонкозернистый песок	8.32	10.32	1.4	<0.010	1.08	—	—		
Csa	45–...	10YR 7/3	Тонкозернистый песок	8.50	12.24	0.0	<0.010	0.91	—	—		
Пятно без растительности (левая часть передней стенки разреза 6-ПУ)												
O	0–1	—	—	7.76	9.1	1.9	0.22	5.17	10.81	10		
AN1	1–10	10YR 4/3	Супесчаный, бесструктурный	7.93	9.3	1.9	0.22	4.21	3.43	10		

Таблица 2. Продолжение

Горизонт	Глубина, см	Цвет по шкале Манселла	Гранулометрический состав (полевое определение), структура (размер структурных отделностей)	pH <sub>H2O</sub>	C <sub>исорг</sub>		C <sub>орг</sub>	N <sub>общ</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	C/N
						%					
АН2	10–25	10YR 3/3	Супесчаный, бесструктурный	7.89	7.7	3.8	0.44	14.75	0.00	10	
АН3	25–35	10YR 2/1	Легкий суглинок, бесструктурный	8.00	6.7	5.9	0.47	13.60		15	
Разрез 7-ПУ. Перегнойно-криогеоморфическая глееватая остаточно-карбонатная почва (Calcaric Stagnosol (Humic, Skeletic))											
Фитомасса		–	–	–	<0.06	40.5	2.33	0.00	0.00	20	
О	0–2	–	–	5.58		33.1	2.54	122.88	9.68	15	
Н1	2–10	10YR 3/1	Легкий суглинок, бесструктурный	6.30		24.3	1.71	36.93	0.00	17	
Н2	10–20	10YR 3/2*; 2/1	Легкий суглинок, бесструктурный	6.49		16.7	1.20	21.58		16	
G	20–27	10YR 4/2	Легкий суглинок, тонкоплитчатый	6.61		2.1	0.16	3.98		15	
CRM1	27–50	10YR 5/6	(2–3 мм) мелкокомковатые с.о.	7.61	0.70	0.9	0.05	3.13		19	
CRM2ca	50–65	10YR 5/4	Средний суглинок, угловато-крупитчатые с.о.	7.97	2.46	0.0	0.04	3.69		–	
ВСca	65–80	10YR 5/4	Тяжелый суглинок, опесчанен, бесструктурный	8.04	2.44	0.0	0.04	2.90		–	
Разрез 8-ПУ. Перегнойно-темногумусовая квазиглеевая криометаморфическая остаточно-карбонатная (Calcaric Folc Gleysol (Skeletal))											
Фитомасса		–	–	–	<0.06	41.0	0.85	93.28	–	56	
Очес	0–5	–	–	6.41		40.2	0.79	101.83	0.00	50.9	
О	5–10	–	–	6.77		34.5	1.60	108.65		25	
АН1	10–12	10YR 2/1	–	6.91		19.8	1.29	42.63		18	
АН2	12–20	10YR 2/2	–	6.95		15.6	1.03	27.25		18	
Qg, ca	20–35	2.5Y 4/2	Средний суглинок, бесструктурный	7.72	0.55	2.1	0.16	3.87		16	
Q/CRMca	35–55	10YR 5/4	Средний суглинок, тонкоплитчатый (3–4 мм)	7.99	0.76	0.8	0.08	4.04		11	

Примечание: “–” – не определено; \* – основной фон; с.о. – структурные отдельности \*\* – предел обнаружения прибора.

**Таблица 3.** Содержание кислоторастворимых форм элементов в горизонтах ВСса и Сса перегнойно-темногумусовой почвы (6-ПУ)

Горизонт, глубина, см	Содержание, %						Отношение масс, CaO/CO <sub>2</sub> *
	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	
ВСса, 35–45	63.00	0.32	0.03	0.02	0.01	0.00	1.7
Сса, 45–...	63.00	0.60	0.16	0.09	0.03	0.00	1.4

Примечание. \* Масса CO<sub>2</sub> в образцах почв рассчитана по содержанию CaCO<sub>3</sub>.

ненная форма взрослой особи *Dryas octopetala* позволяет этим вечнозеленым кустарничкам в течение нескольких десятков лет занимать значительные по площади участки (до 100 см в поперечнике), накапливая гумус и на поверхности, и в толще субстрата. Часто это растение является пионерным при зарастании щебнистых грунтов за счет глубокого проникновения в почву корней [5, 25, 49, 68]. Исследованиями В.М. Швецовой [46] установлена высокая устойчивость фотосинтеза дриад к низким температурам и незначительной освещенности. Согласно многочисленным литературным данным *D. octopetala* – растение, образующее эктомикоризу с несколькими десятками грибов-симбионтов, приспособленных к обитанию в экстремальных условиях Арктики [25, 50, 57]. Для эктомикориз дриады характерно высокое разнообразие и встречаемость темноокрашенных микобионтов [51, 60–63]. В гифах клеточных стенок этих грибов присутствует пигмент меланин [54, 63–66], который защищает гифы от экстремальных температур, электромагнитной радиации, какие имеют место в высокогорных почвах. Таким образом, *D. octopetala* способна создавать особую среду. Благодаря, в том числе темной окраске субстрата, температура в толще под растением может достигать +50°C [46], а наличие корневых клубеньков питает не только растение, но и почву под ним азотом [37, 52, 53].

Участок 6-ПУ имеет криогенно-пятнистый характер микрорельефа и, вероятно, в зимний период может оказываться оголенным с минимальной мощностью снежного покрова. Это приводит к формированию зон, не покрытых растительностью. Пятна-медальоны без растительного покрова имеют характерную 4-5-6-угольную геометрическую форму и составляют 65–70% от общей поверхности. Это обуславливает высокий расход влаги из почвы на транспирацию летом и преобладание здесь наиболее толерантных (выдерживающих суровые экологические условия) растений. В целом полученные результаты соответствуют данным по изучению продуктивности растительных сообществ тундровых ландшафтов Кольского полуострова [28].

Растительность является важнейшим источником углерода и азота в почвах. Содержание C<sub>орг</sub> в наземной части фитомассы исследуемых участ-

ков колеблется в диапазоне 40–49%. При концентрации N<sub>орг</sub> около 1% (фитомасса участков 1-ПУ, 6-ПУ и 8-ПУ) отношение C/N составляет 44–56. При двукратном повышении содержания азота в фитомассе участков 2-ПУ, 3-ПУ, 5-ПУ, 7-ПУ, C/N снижается до 20–29 (табл. 2). Близкие результаты получены ранее при изучении состава наземной биомассы растений сообществ Большеземельской тундры [15, 17]. Химический состав подземной части биомассы остался за рамками данного исследования, хотя авторы отдают себе отчет о существенном влиянии на почвенные свойства и подземных органов многолетних растений тундры. На сосредоточение существенных запасов биомассы в составе подземных органов в связи с развитой системой подземных побегов указывалось ранее [29, 67].

**Классификационно-номенклатурное разнообразие почв.** В пределах исследуемого склона северо-восточной экспозиции коренные карбонатные породы (мраморизованные известняки) образуют маломощный чехол различных по гранулометрическому составу отложений элювиально-делювиального генезиса (1-ПУ, 2-ПУ, 6-ПУ, 7-ПУ, 8-ПУ). Разрезы 3-ПУ и 5-ПУ сформированы на вогнутом (U-образной формы ложбина) участке склона на переотложенных рыхлых отложениях, резко подстилаемых массивными плитами. Во всех исследуемых почвенных разрезах присутствие других пород (кроме известняков) не обнаружено. В результате высокой щебнистости, наличия карбонатных пород по всему профилю (часто с поверхности) и провальной фильтрационной способности почв мерзлота отсутствует. Максимальное содержание известняков характерно для разрезов 6-ПУ, 8-ПУ (70–80% от объема горизонта), в остальных разрезах они преобладают только с глубины 35–40 см. Специфика факторов и условий почвообразования (мозаичность растительного покрова, гидро-термический режим, различная мощность мелкоземисто-щебнистой толщи и др.) в пределах всей катены обуславливают разное проявление и сочетание элементарных почвообразовательных процессов, которые приводят к формированию системы генетических горизонтов и образованию определенного почвенного профиля (рис. 2).

В ходе морфологических описаний почвенных разрезов (и серии прикопок) выявлена сложная

система горизонтов и подгоризонтов, что в значительной мере определяет разнообразие типов и подтипов почв (даже на незначительном расстоянии) и пространственную вариабельность верхних и срединных горизонтов. Исследуемые почвы характеризуются отчетливой дифференциацией на генетические горизонты, которые бурно вскипают от воздействия 10%-ной HCl по всему профилю. Краткая характеристика морфологического строения почвенных профилей (горизонтов) приведена в табл. 2 и на рис. 2. В исследуемых разрезах верхние (поверхностные) горизонты представлены подстильно-торфянистыми (в том числе с признаками грубогумусированного материала Oao), состоящей из механической смеси различных по степени разложения органических остатков с минеральными компонентами (2-ПУ; 3-ПУ; 8-ПУ). Залегающие ниже гумусовые горизонты представлены широким набором: серогумусовые (AY или AYao); перегнойно-темногумусовые (АН); перегнойные (Н). Наличие большого спектра отчетливо диагностируемых гумусово-аккумулятивных горизонтов (в условиях однотипного климата и отметок в рельефе) “контролируется” взаимным сочетанием литологического (характер увлажнения и мощность субстрата) и бигеоценологического (фитоценологического) факторов. Среди сопряженных генетических горизонтов почвенных профилей именно верхние горизонты наиболее адекватно отражают основные различия, вызванные современной экологической обстановкой, что отмечают многие исследователи для почв холодных гумидных областей [10, 12, 26, 39]. Для срединных горизонтов почв (CRM), сформированных в аккумулятивных (1-ПУ) и транзитно-аккумулятивных условиях (2-ПУ, 5-ПУ, 7-ПУ, 8-ПУ) на переотложенных элювиально-делювиальных отложениях, характерно наличие ярко выраженной по морфологии специфической структурной организации. Криометаморфические горизонты CRM (CRMca) имеют желтовато-бурую окраску (10YR 5/4; 10YR 4/3); наблюдается горизонтальная делимость почвенной массы: непрочные линзовидные агрегаты толщиной 5–8 мм рассыпаются на мелкокомковатые (местами угловато-крупитчатые) отдельности с размерами 4–7 мм по горизонтали и 3–4 мм по вертикали. Мелкозем горизонта CRM активно вскипает от воздействия 10%-ной HCl. В нижних горизонтах происходит постепенное увеличение доли мелкой дресвы и щебня, что препятствует формированию морфологической выраженности структуры (гор. ВСса). Формирование подобной структуры происходит под воздействием многократных циклов промерзания-оттаивания в определенных диапазонах влажности и температуры, что выявлено для многих типов почв как в равнинных [6, 11, 20, 39], так и в горных ландшафтах [3, 19]. Для исследуемого региона Полярного Урала разнообразие типов почв с криогенноост-

руктурным горизонтом на карбонатных породах описано нами впервые.

**Углерод и азот в почвах.** *Неорганические формы элементов.* Содержание углерода неорганических соединений по почвам и горизонтам существенно изменяется и достигает 12.2% (табл. 2). Во всех почвенных профилях масса  $C_{\text{неорг}}$  возрастает с глубиной, единственным его источником является карбонат-содержащая почвообразующая порода.

Для характеристики ее химического состава выбраны горизонты ВСса (35–45 см) и Сса (45–... см) перегнойно-темногумусовой почвы (6-ПУ, табл. 3), сформированной на вершине увала на элювии мраморизированных известняков (рис. 2). Среди основных типоморфных элементов доминирует кальций – массовая доля оксида кальция составляет 63%, сумма долей иных металлов и неметаллов (за исключением Si) не превышает 5%. Очевидно, что вторым по значимости элементов в составе почвообразующей породы, является кремний. В горизонте Сса (45–... см) отношение масс оксидов CaO/CO<sub>2</sub> (масса CO<sub>2</sub> рассчитана по содержанию карбонатов) составляет 1.4. Для чистого карбоната кальция данное соотношение равно 1.3, гидрокарбоната – 0.64. Это свидетельствует о том, что кальций входит в состав карбоната. В вышележащем горизонте ВСса (35–45 см) отмечено более высокое значение отношения CaO/CO<sub>2</sub>, что указывает на течение процессов физического (дезигрегации) и химического выветривания (растворения карбоната) в связи с миграцией вглубь профиля органических и органо-минеральных соединений. Названные процессы являются причиной накопления органического углерода до 1.4% в горизонте ВСса против 0% в почвообразующей породе.

Азот неорганических соединения (сумма N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> и N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) почв составляет менее 1% от общего его содержания. Ранее уже было показано, что в тундровых экосистемах азот неорганических соединений представляет собой второстепенную форму общего почвенного азота [8, 30, 32, 42, 43, 59].

Содержание аммонийного азота почв колеблется от единиц до полутора сотен мг/кг. Максимальные значения свойственны органогенным горизонтам, с глубиной отмечено закономерное его снижение. Нитратный азот обнаружен только в поверхностных и подповерхностных горизонтах почв, где его концентрация может достигать 30 мг/кг. В этих объектах содержание N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> в 5–20 раз меньше по сравнению с N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, что также согласуется с данными указанных выше исследователей экосистем высоких широт о преобладании процессов аммонификации в цикле биологического круговорота азота. Медленные темпы минерализации органических остатков определяются низкой среднегодовой температу-

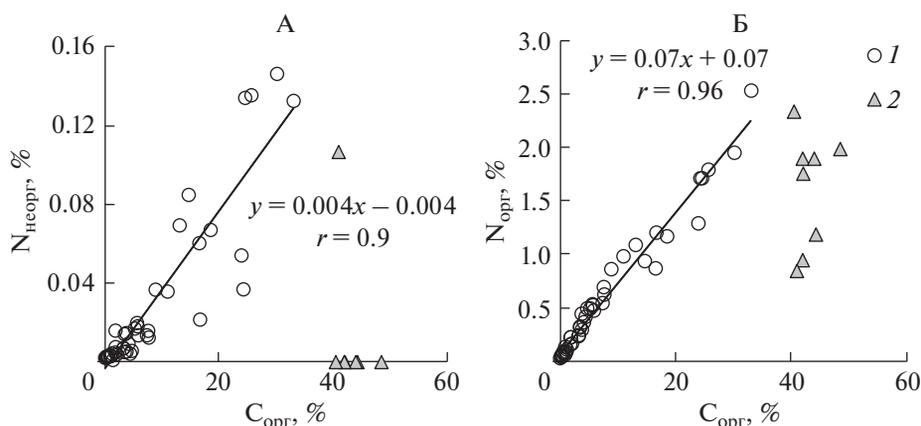


Рис. 3. Взаимосвязь содержания органического углерода  $C_{\text{орг}}$  с неорганическим  $N_{\text{неорг}}$  (А), и органическим  $N_{\text{орг}}$  (Б) азотом в почвах (1) и наземной фитомаме растений (2).

рой, краткостью вегетационного периода, бедностью бактериальной флоры, анаэробными условиями [8, 47, 56]. На биогенное происхождение неорганического азота почв косвенно указывает тесная связь с содержанием органического углерода (рис. 3).

**Органические формы элементов.** В каждом профиле поверхностные горизонты имеют максимальное содержание органического углерода и азота. Большими их концентрациями (30–38 и 1.7–2.5% соответственно) характеризуются почвы участков 5-ПУ, 7-ПУ и 8-ПУ. Аккумуляции органического углерода способствуют количество и характер поступающего опада, а также условия его разложения. Растительные сообщества названных участков, особенно последние два, характеризуются максимальной биологической продуктивностью (табл. 1). На участке 5-ПУ преобладают богатые лигнином трудноразагаемые остатки кустарничков. Опад участка 8-ПУ в основном представлен очесом сфагнового мха, разложению которого препятствуют повышенная влажность, связанный с ней недостаток кислорода. Подобные условия способствуют консервации растительных остатков и накоплению в почве значительного количества органического вещества. Здесь же отмечена и большая мощность подстильно-торфянистого горизонта (до 10 см). Близость содержания  $C_{\text{орг}}$  в поверхностных горизонтах этих почв и в фитомаме соответствующих участков также свидетельствуют о медленных процессах разложения органического материала, поступающего на поверхность.

Почвы участков 5-ПУ и 7-ПУ, формирующиеся под травяно-ивковым сообществом и высокотравным лугом, характеризуются и максимальным содержанием органического азота (2–2.5%). Специфичность состава и условий разложения опада участка 8-ПУ способствует обогащению слаборазложившихся растительных остатков азотом.

Здесь отмечено двукратное превышение содержания N в подповерхностном горизонте по сравнению с фитомамой. Темпы его потери ниже, чем органического углерода, что связано с более существенной убылью C по сравнению с N из-за неэквивалентного выделения углерод- и азотсодержащих газов, в меньшей степени это может быть вызвано вымыванием растворимых безазотистых органических соединений. Подобные явления были уже ранее отмечены при исследовании торфяных почв [36, 43]. В всех трех случаях содержание  $N_{\text{орг}}$  в поверхностных горизонтах практически эквивалентно его концентрации в соответствующей фитомаме.

Более низкие значения  $C_{\text{орг}}$  и  $N_{\text{орг}}$  (15–25 и 0.9–1.3% соответственно) в поверхностных горизонтах почв участков 1–3ПУ, 6-ПУ связаны как с низкой продуктивностью растительных сообществ, так и составом опада. На этих участках, особенно 1-ПУ, 3-ПУ, 6-ПУ отмечено меньшее содержание органических форм углерода (в 2–3 раза) и азота (до 1.5 раз) в поверхностных горизонтах почв по сравнению с биомассой соответствующих участков. Это указывает на более интенсивную минерализацию и гумификацию поступающего растительного опада в почвах, формирующихся под дриадовыми сообществами (пятнистая дриадово-моховая, дриадово-травяная и полигональная дриадовая). В нижних горизонтах этих почв содержание органических форм углерода и азота резко убывает, хотя в отдельных минеральных горизонтах остается существенным – до 8 и 0.6% соответственно (3-ПУ, 6-ПУ).

Накопление элементов в минеральной части профилей может быть связано с большим содержанием корней и, следовательно, поступлением  $C_{\text{орг}}$  вместе с опадом подземных органов растений, а также за счет гумусово-иллювиального процесса [28, 29]. Для понимания соотносительности вклада этих двух факторов необходимы до-

полнительные исследования. Концентрации органических форм углерода и азота почв тесно взаимосвязано ( $r = 0.96$ ,  $P = 0.95$ ), для наземной фитомассы эта связь отсутствует (рис. 3).

Следует обратить внимание на тот факт, что органические соединения количественно перераспределяются и закрепляются в пределах поверхностных горизонтов почвенных профилей. Вместе с тем не следует полностью исключать механический перенос органического вещества с поверхности плато в геохимически сопряженные элементы ландшафта за счет эоловых процессов; движения со склона снежных масс, способных увлечь за собой органические остатки, а также за счет смыва верхних слоев почвы в период активного снеготаяния и выпадения большого количества осадков, на что указывают русла ручейков, идущие от вершины хребта к его подножью. Наличие процессов переотложения наблюдается в разрезе 3-ПУ на склоне с крутизной  $6^\circ$ – $8^\circ$ , где под слаборазложившимся слоем опада листьев дриады (*Dryas octopetala*) сформирован перегнойно-темногумусовый стратифицированный горизонт (АНг), резко подстилаемый массивной плитой известняков (рис. 2).

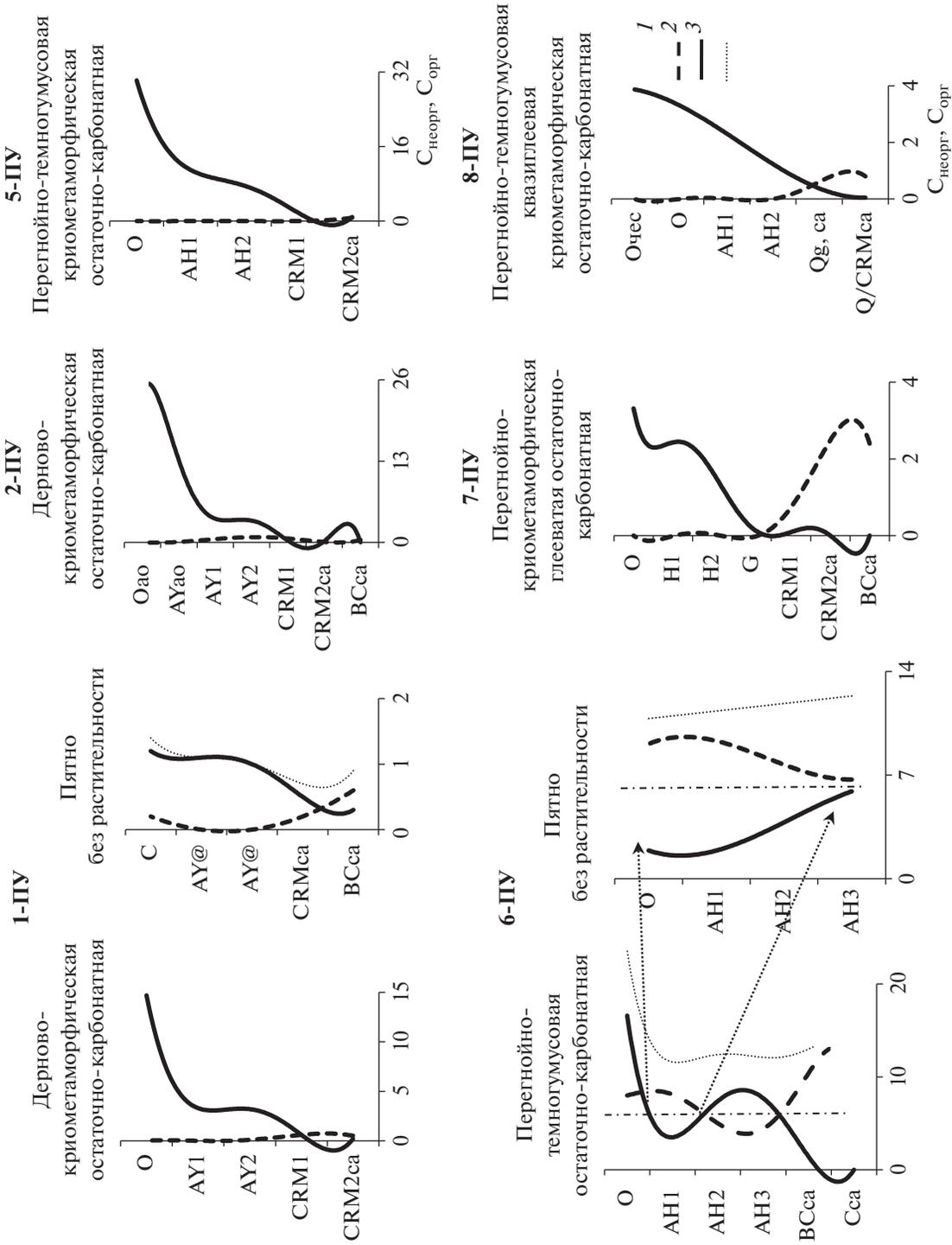
В большинстве случаев значения C/N поверхностных горизонтов почв не превышает 25 и близко к этому показателю для фитомассы соответствующих участков. Аналогичные выводы были ранее сделаны при изучении циклов углерода и азота почв побережья Баренцева моря [43]. При этом даже под луговой растительностью в транзитно-аккумулятивной части катены, отношение C/N в профиле не опускается ниже 15. Основным фактором, ограничивающим процессы гумификации, является низкая среднегодовая температура. Наиболее обеднено азотом органическое вещество почвы 8-ПУ (табл. 2), что свидетельствует об увеличении вклада негумифицированного материала в состав органического вещества. В почвенных профилях с глубиной значения C/N, как правило, постепенно уменьшаются, что указывает на большую степень гумификации органического вещества. Исключение составляет перегнойно-криометаморфическая почва (7-ПУ), где C/N в профиле практически не меняется. В минеральных горизонтах, как и в органогенных, также наблюдается тенденция повышения обогащенности органического вещества азотом при движении от элювиальных к аккумулятивным позициям.

В свете названных общих закономерностей рассмотрим особенности распределения разных форм углерода в отдельных профилях. Собственно на известняке, где содержание  $C_{\text{неорг}}$  составляет 12.2%, формируется перегнойно-темногумусовая почва (6-ПУ). Профиль полностью имеет щелочную реакцию  $pH_{H_2O}$  7.6–8.5. Интересным оказывается факт, что в минеральной части про-

филя на глубине 1–45 см распределение органического и неорганического углерода симметричны с осью C ~ 6% (рис. 4), сумма обеих форм по всей толще профиля остается практически неизменной  $C_{\text{неорг}} + C_{\text{орг}} = (11.8–12.2)\%$ . Феномен симметричного распределения органических и неорганических форм углерода относительно таковой оси, а также постоянство суммы обеих форм углерода выражен и в профиле под растительным пятном (6-ПУ). Однако под пятном содержание неорганического углерода в поверхностном слое (0–1 см) в 1.4 раза больше, чем на глубине 25–35 см. Очевидно, что пласт в 35-см на  $180^\circ$  “перевернут” криотурбационными процессами. Следует отметить, что это единственный случай, где столь ярко выражены криотурбационные явления, вызванные максимальным промерзанием почв на вершине увала. Здесь же, как указано выше, четко выражен криогенно-пятнистый характер микрорельефа.

Верхняя толща этой почвы (горизонты АН 1–35 см) отличается темной (от темно-коричневой вплоть до черной) окраской (10YR 3/3 – 3/1; 10YR 2/1) с отчетливым (резким) переходом по цвету в нижележащие горизонты ВС-С (10YR 8/1; 10YR 7/3). По всему профилю характерно бурное вскипание от HCl как мелкозема, так и щебня мраморизированных известняков (в том числе на поверхности криогенных “медальонов”). Наличие в почвенном профиле хорошо выветрелой мелкой дресвы и обломков пород (3–10 мм), которые легко разрушаются при надавливании пальцами, свидетельствует о процессах физической (физико-химической) дезинтеграции. В этой связи генезис перегнойно-темногумусового горизонта (АН) с мощностью до 34–35 см определяется спецификой условий почвообразования: высокой щебнистостью нижних горизонтов, супесчано-легкосуглинистым гранулометрическим составом верхней толщи, повышенным годовым количеством осадков (600–800 мм), промывным (провальным) типом водного режима, а также преобладанием в напочвенном покрове кальцефитной растительности в виде *Dryas octopetala*.

Таким образом, процессы гумификации протекают в условиях высокого содержания карбонатов, щелочной реакции среды за счет господства в почвенном растворе  $Ca(HCO_3)_2$ , миграции органических веществ вглубь профиля за счет промывного водного режима. Эти факторы наряду с доминированием кальцефитной растительности с учетом специфики пигментации, консервации, разложения и биологической активности микрофлоры приводят к темному окрашиванию верхней части почвенного профиля изучаемых почв. Феномен темного окрашивания профиля “подобно коричневому и черноземному почвообразованию” был ранее описан при исследовании



**Рис. 4.** Содержание углерода неорганических (1), органических (2) соединений почв и их суммы (3) (для 1–6-ПУ значения содержания органического углерода даны в %, для 7-ПУ и 8-ПУ – в 0.1%).

горных карбонатных почв северо-западного Кавказа с фульватно-гуматным типом гумуса [21].

Руководствуясь целью вписать неисследованные ранее горные карбонатные почвы Полярного Урала в общую базу данных о фракционно-групповом составе гумуса главных типов почв России и зарубежных стран [34], авторами также был выполнен данный анализ (дискуссионный вопрос о природе гумусовых соединений – гетерополимеры или супрамолекулярные ансамбли – остается за пределами данной работы). Оказалось, что в почвах 7-ПУ и 8-ПУ до глубины 20 см, в поверхностных и подповерхностных горизонтах почв 2-ПУ и 3-ПУ, а также в горизонтах АН (10–35 см) разреза 6-ПУ гумус по Д.С. Орлову фульватно-гуматный ( $C_{ГК}/C_{ФК} = 1.1–1.9$ ). остальные слои характеризуются гуматно-фульватным типом [45]. Это свидетельствует о том, что темную окраску почвам помимо упомянутой выше прокраски меланином придают гуминовые кислоты. Оценить вклад каждого фактора на данном этапе не представляется возможным.

Есть основания согласиться с выводом [21] о том, что при всем широком разнообразии карбонатных почв, содержание углерода и характер его распределения имеет общие черты в различных регионах – и не только от тропического пояса до бореального [21], но и в Субарктическом секторе. Главное направление почвообразования – процессы выщелачивания и гумусонакопления.

В остальных разрезах содержание  $C_{неорг}$  составляет 0.4–2.5% при существенном превышении органического углерода над неорганическим, что, прежде всего, связано с особенностями функционирования биоты. В разрезе 7-ПУ (табл. 2), поверхностный горизонт О (0–2 см) имеет слабокислую реакцию среды  $pH_{H_2O}$  5.6, значения pH в почвенном профиле закономерно увеличиваются, достигая ниже отметки в 50 см значений pH около 8. Содержание неорганического углерода в профиле возрастает от 0 до 2.4%. Несколько менее существенные варианты преобразования породы наблюдаются в почвах 1-ПУ и 8-ПУ, где поверхностные горизонты характеризуются нейтральной и щелочной реакцией ( $pH_{H_2O}$  6.4–6.7) горизонтов CRM (35–60 см). Рост неорганического углерода с глубиной составляет от 0 до 0.5–0.8%.

Руководствуясь целью вписать неисследованные ранее горные карбонатные почвы Полярного Урала в общую базу данных о фракционно-групповом составе гумуса главных типов почв России и зарубежных стран [34], авторами также был выполнен данный анализ (дискуссионный вопрос о природе гумусовых соединений – гетерополимеры или супрамолекулярные ансамбли – остается за пределами данной работы). Оказалось, что в почвах 7-ПУ и 8-ПУ до глубины 20 см, в поверхностных и подповерхностных горизонтах почв 2-ПУ и

3-ПУ, а также в горизонтах АН (10–35 см) разреза 6-ПУ гумус по Д.С. Орлову фульватно-гуматный ( $C_{ГК}/C_{ФК} = 1.1–1.9$ ), остальные слои характеризуются гуматно-фульватным типом [45].

Это свидетельствует о том, что темную окраску почвам помимо упомянутой выше прокраски меланином придают гуминовые кислоты. Оценить вклад каждого фактора на данном этапе не представляется возможным.

Есть основания согласиться с выводом [21] о том, что при всем широком разнообразии карбонатных почв, содержание углерода и характер его распределения имеет общие черты в различных регионах – и не только от тропического пояса до бореального [21], но и в Субарктическом секторе.

Главное направление почвообразования – процессы выщелачивания и гумусонакопления.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получен новый фактический материал по генезису, классификации и особенностям пространственного распределения углерода и азота в почвах на элювиально-делювиальных отложениях карбонатных пород Полярного Урала. На примере полуторакилометровой катены показан широкий спектр почвенных типов (подтипов), резко различающихся по характеру органофилия и срединных диагностических горизонтов. Специфика факторов и условий почвообразования (мозаичность растительного покрова, гидротермический режим, различная мощность мелкоземисто-щебнистой толщи и др.) обуславливают в пределах катены разное проявление и сочетание элементарных почвообразовательных процессов: поверхностное накопление грубогумусовой подстилки; интенсивное гумусонакопление; потечность гумуса; оглеение; криогенный метаморфизм минеральной массы (криогенное оструктуривание); дезинтеграция щебня/дресвы до стадии мелкозема; выщелачивание известковой породы.

Во всех почвенных профилях масса неорганического углерода возрастает с глубиной, единственным его источником является карбонат-содержащая почвообразующая порода. Неорганический азот (сумма  $N-NO_3^-$  и  $N-NH_4^+$ ) составляет менее 1% от общего его содержания в почвах. Органические соединения количественно перераспределяются и закрепляются в пределах поверхностных горизонтов и имеют максимальное содержание органического углерода и азота (до 40 и до 2.5% соответственно). В нижележащих слоях значения этих показателей резко снижаются, хотя в отдельных минеральных горизонтах остается существенным (до 8 и 0.6%).

Полученные результаты расширяют представление о разнообразии, генетических особенно-

стях и географии почв на карбонатных породах Субарктических горных экосистем.

### БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают глубокую благодарность Н.Б. Хитрову, С.В. Горячкину, Д.А. Каверину, Т.А. Сизоненко за ценные советы, критические замечания и консультации при подготовке рукописи.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследования выполнены в рамках бюджетной темы НИР “Выявление общих закономерностей формирования и функционирования торфяных почв на территории Арктического и Субарктического секторов Европейского Северо-Востока России (номер государственной регистрации: АААА-А17-117122290011-5)” и гранта РФФИ № 20-04-00445а “Факторы и механизмы стабилизации органического вещества в почвах экстремальных условий (на примере арктических экосистем)”.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Рис. 1. А – морфологическое строение профиля дерново-криометаморфической почвы (разрез 1-ПУ); Б – пятно без растительности (правая часть передней стенки разреза 1-ПУ).

Рис. 2. Морфологическое строение профиля карболитозема перегнойно-темногумусового (разрез 3-ПУ).

Рис. 3. Морфологическое строение профиля перегнойно-темногумусовой криометаморфической почвы (разрез 5-ПУ).

Рис. 4. Морфологическое строение профиля перегнойно-темногумусовой почвы (разрез 6-ПУ).

Рис. 5. Морфологическое строение профиля перегнойно-криометаморфической почвы (разрез 7-ПУ).

Рис. 6. Морфологическое строение профиля перегнойно-темногумусовой квазиглеевой криометаморфической почвы (разрез 8-ПУ).

Рис. 7. Макростроение горизонта Q/CRMса (разрез 8-ПУ).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев И.И., Абакумов Е.В., Томашунас В.М. Катенарная дифференциация почв предгорий Полярного Урала на примере участка в районе р. Халыталбей (приток р. Щучья) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2015. Т. 24. № 4. С. 146–149.
2. Алексеева-Попова Н.В. Экология и биогеохимическая дифференциация видов / Проблемы экологии растительных сообществ, отв. ред. В.Т. Ярмишко. СПб.: ВВМ, 2005. С. 342–351.
3. Ананко Т.В., Герасимова М.И., Конюшков Д.Е. Почвы горных территорий в классификации почв России // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 92. С. 122–146. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-92-122-146>
4. Антропогенная динамика растительного покрова Арктики и Субарктики принципы и методы изучения // Тр. ботанического института им. В.Л. Комарова РАН. 1995. Вып. 15. 185 с.
5. Арктическая флора СССР. Вып. IX. Семейства Drosaceae – Leguminosae. Ч. 1. Семейства Drosaceae – Rosaceae / Сост. И.О. Бузунова, В.Н. Гладкова, Т.И. Заиконникова, В.В. Петровский, О.В. Ребристая, Н.Н. Тараскина, В.Н. Тихомиров, Б.А. Юрцев; под ред. Б.А. Юрцева. Л.: Наука, 1984. 334 с.
6. Атлас почв Республики Коми / Под ред. Г.В. Добровольского, А.И. Таскаева, И.В. Забоевой. Сыктывкар, 2010. 356 с.
7. Богатырев К.П., Ногина Н.А. Почвы горного Урала // О почвах Урала, западной и центральной Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 5–48.
8. Бузин И.С., Макаров М.И., Малышева Т.И., Кадулин М.С., Королева Н.Е., Маслов М.Н. Трансформация соединений азота в почвах горно-тундровых экосистем Хибин // Почвоведение. 2019. № 5. С. 570–577.
9. Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР Л.: Наука, 1989. 64 с.
10. Герасимова М.И. Классификация почв России: путь к следующей версии // Почвоведение. 2019. № 1. С. 32–42.
11. Горячкин С.В. Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, эволюция). М.: ГЕОС, 2010. 414 с.
12. Горячкин С.В., Водяницкий Ю.Н., Конюшков Д.Е., Лесовая С.Н. и др. Биоклиматогенные и геогенные проблемы географии почв Северной Евразии // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2008. № 62. С. 48–68.
13. Горячкин С.В., Макеев А.О. Направления таежного почвообразования: спектр мезоморфных почв Европейского Севера // Почвообразование и выветривание в гумидных и семигумидных ландшафтах. М.: Ин-т географии РАН, 1991. С. 8–72.
14. Государственная почвенная карта России. Масштаб 1 : 1000000. Пояснительная записка к листу Q-41 (Воркута). Сыктывкар. 2011. 76 с.
15. Грунина Л.К., Гецен М.В. Биогенная аккумуляция азота растениями тундровой зоны. Серия препринтов “Научные доклады”. Коми филиал АН СССР. 1984. Вып. 97. 32 с.
16. Дымов А.А., Жангуров Е.В. Морфолого-генетические особенности почв кряжа Енганэпэ (Полярный Урал) // Почвоведение. 2011. № 5. С. 515–524.
17. Елсаков В.В. Аккумуляция азота и углерода надземной массой растений в сообществах Большеземельской тундры // Научные доклады: Коми научный центр УрО РАН. Сыктывкар, 2003. Вып. 461. 28 с.
18. Жангуров Е.В., Дубровский Ю.А., Сандула А.Н. Почвообразование на карбонатных породах и флористическое своеобразие водоохранных лесов среднего течения р. Илыч (Северный Урал) // Современное состояние и перспективы развития особо охраняемых территорий Европейского севера и

- Урала. Мат. Всерос. науч.-практ. конф. Сыктывкар, 2011. С. 62–66.
19. *Жангуров Е.В., Старцев В.В., Дубровский Ю.А., Дегтева С.В., Дымов А.А.* Морфолого-генетические особенности почв горных лиственничных лесов и редколесий Приполярного Урала // Почвоведение. 2019. № 12. С. 1415–1429. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19120141>
  20. *Жангуров Е.В., Тонконогов В.Д., Забоева И.В.* Автоморфные почвы Среднего и Южного Тимана // Почвоведение. 2008. № 12. С. 1413–1422.
  21. *Казеев К.Ш., Кутровский М.А., Даденко Е.В., Везденеева Л.С., Колесников С.И., Вальков В.Ф.* Влияние карбонатности пород на биологические свойства горных почв Северо-западного Кавказа // Почвоведение. 2012. № 3. С. 327–335.
  22. *Катаева М.Н.* Доступность растениям химических элементов в почвах горной тундры на породах различного состава (Полярный Урал) // Почвоведение. 2013. № 2. С. 177–186.
  23. *Катаева М.Н., Холод С.С.* Дифференциация растительности и почв Полярного Урала в контрастных геохимических условиях // Проблемы экологии растительных сообществ. СПб., 2005. С. 352–391.
  24. *Конюшков Д.Е., Герасимова М.И., Ананко Т.В.* Корреляция дерново-карбонатных почв на почвенной карте РСФСР масштаба 1 : 2.5 млн и в системе классификации почв России // Почвоведение. 2019. № 3. С. 276–289. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19030079>
  25. *Костяев В.Я.* Фиксация молекулярного азота в арктической тундре. Ярославль: Филигрань, 2016. 106 с.
  26. *Лебедева И.И., Герасимова М.И.* Диагностические горизонты в классификации почв России // Почвоведение. 2012. № 9. С. 923–934.
  27. *Лесовая С.Н., Горячкин С.В., Полеховский Ю.С.* Почвообразование и выветривание на ультраосновных породах горных тундр массива Рай-Из (Полярный Урал) // Почвоведение. 2012. № 1. С. 44–56.
  28. *Маслов М.Н.* Углерод, азот и фосфор в тундровых экосистемах северной Фенноскандии // Дис. ... канд. биол. н. М., 2015. 234 с.
  29. *Маслов М.Н., Копеева Е.И., Зудкин А.Г., Королева Н.Е., Шулаков А.А., Онитченко В.Г., Макаров М.И.* Запасы фитомассы и органического углерода в тундровых экосистемах Северной Фенноскандии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2016. № 3. С. 30–36.
  30. *Маслов М.Н., Макаров М.И.* Трансформация соединений азота в тундровых почвах Северной Фенноскандии // Почвоведение. 2016. № 7. С. 813–821.
  31. *Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014. Международная система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт. Исправленная и дополненная версия 2015 / Научные редакторы перевода: М.И. Герасимова, П.В. Красильников. ФАО и Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2017.*
  32. *Мошкина Е.В.* Азотные соединения в почвах Северо-Запада России и динамика их под влиянием антропогенного воздействия (на примере Карелии). Автореф. ... канд. с.-х. н. Санкт-Петербург. 2009. 19 с.
  33. *Национальный Атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель. 2011. 632 с.*
  34. *Орлов Д.С.* Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 333 с.
  35. *Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. 2008. 182 с.*
  36. *Родин Л.Е., Базилевич Н.И.* Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности Земного шара. М.: Наука, 1965. 264 с.
  37. *Романов Г.Г., Овсова Т.А., Грунина Л.К.* Азотфиксация и накопление азота *Dryas octopetala* (Rosaceae) в субарктике // Ботанический журн. 1991. Т. 76. № 11. С. 1578–1681.
  38. *Таргульян В.О.* Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях. М.: Наука, 1971. 268 с.
  39. *Тонконогов В.Д.* Пространственно-генетические ряды горизонтов и профилей почв Русской и Западно-Сибирской равнин // Почвоведение. 2008. № 6. С. 645–654.
  40. *Фирсова В.П., Дедков В.С.* Почвы высоких широт горного Урала. Свердловск, 1983. 95 с.
  41. *Шадрин Л.Ф., Островский Л.Я.* О картировании ордовикских толщ на Полярном Урале. Геология и металлогения ордовикских толщ осевой зоны севера Полярного Урала. 1978. 148 с.
  42. *Шамрикова Е.В., Денева С.В., Кубик О.С.* Распределение углерода и азота в почвенном покрове прибрежной территории Баренцева моря (Хайпудырская губа) // Почвоведение. 2019. № 5. С. 558–569.
  43. *Шамрикова Е.В., Денева С.В., Кубик О.С., Панюков А.Н.* Соединения азота в почвах континентальных окраин Европейского сектора Российской Арктики // Почвоведение. 2020.
  44. *Шамрикова Е.В., Жангуров Е.С., Кубик О.С., Королев М.А.* Специфика состава и свойств органического вещества почв Полярного Урала // Вестник Томского гос. ун-та. Биология. 2020.
  45. *Шварева Ю.О.* Климат Приполярного и Полярного Урала // Исследование ледников и ледниковых районов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. Вып. 2. С. 176–199.
  46. *Швецова В.М.* Зависимость фотосинтеза некоторых растений Арктики от температуры // Ботанический журн. 1970. Т. 55. № 11. С. 1683–1688.
  47. *Федорец Н.Г., Бахмет О.Н.* Экологические особенности трансформации соединений углерода и азота в лесных почвах. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. 240 с.
  48. *Юрцев Б.А., Алексеева-Попова Н.В., Дроздова И.В., Катаева М.Н.* Характеристика растительности и почв Полярного Урала в контрастных геохимических условиях. Кальцефитные и ацидофитные сообщества // Ботанический журн. 2004. Т. 89. № 1. С. 27–41.
  49. *Bjorbækmo M.F.M., Carlsen T., Brysting A. et al.* High diversity of root associated fungi in both alpine and arctic *Dryas octopetala* // BMC Plant Biol. 2010. V. 10. P. 1–12. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-244>
  50. *Carlsen T.A.* Molecular diversity of root endophytes in an alpine *Bistorta vivipara*-*Kobresia myosuroides* plant community. Cand scient thesis Department of Biology, University of Oslo. 2002. 53 p.

51. *Clemmensen K.E., Michelsen A.* Integrated long-term responses of an arctic-alpine willow and associated ectomycorrhizal fungi to an altered environment // *Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne De Botanique*. 2006. V. 84. № 5. P. 831–843.
52. *Gardes M., Dahlberg A.* Mycorrhizal diversity in arctic and alpine tundra: An open question // *New Phytologist*. 1996. V. 133. № 1. P. 147–157.
53. *Hobbie J.E., Hobbie E.A.* N-15 in symbiotic fungi and plants estimates nitrogen and carbon flux rates in Arctic tundra // *Ecology*. 2006. V. 87. № 4. P. 816–822.
54. *Kõljalg U., Dahlberg A., Taylor A.F.S., Larsson E., Hallenberg N., Stenlid J., Larsson K.H., Fransson P.M., Karen O., Jonsson L.* Diversity and abundance of resupinate theleporoid fungi as ectomycorrhizal symbionts in Swedish boreal forests // *Molecular Ecology*. 2000. V. 9. № 12. P. 1985–1996.
55. *Lessovaia S.N., Polekhovskiy Y., Dultz S., Plötze M., Andreeva N., Filimonov A., Momotova O.* Soil development on basic and ultrabasic rocks in cold environments of Russia traced by mineralogical composition and pore space characteristics // *Catena*. 2016. V. 137. P. 596–604.
56. *Moon J., Ma Li, Xia K., Plant W.M.A.* Microbial and mineral contributions to amino acid and protein organic matter accumulation during 4000 years of pedogenesis // *Soil Biology and Biochemistry*. 2016. V. 100. P. 42–50.  
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.05.011>
57. *Muhlmann O., Bacher M., Peintner U.* Polygonum viviparum mycobionts on an alpine primary successional glacier forefront // *Mycorrhiza*. 2008. V. 18. № 2. P. 87–95.
58. *Munsell A.* Munsell Soil Color Chart. Colmorgan Instruments. 1988. Baltimor. MD.
59. *Nannipieri P., Eldor P.* The chemical and functional characterization of soil N and its biotic components // *Soil Biol. Biochem*. 2009. V. 41. P. 2357–2369.
60. *Newsham K.K., Upson R., Read D.J.* Mycorrhiza and dark septate root endophytes in polar regions // *Fungal Ecology*. 2009. V. 2. P. 10–20.
61. *Robinson C.H.* Cold adaptation in Arctic and Antarctic fungi // *New Phytologist*. 2001. V. 151. № 2. P. 341–353.
62. *Ruotsalainen A.L., Tuomi J., Vare H.* A model for optimal mycorrhizal colonization along altitudinal gradients // *Silva Fennica*. 2002. V. 36. № 3. P. 681–694.
63. *Ryberg M., Larsson E., Molau U.* Ectomycorrhizal Diversity on *Dryas octopetala* and *Salix reticulata* in an Alpine Cliff Ecosystem // *Arctic Antarctic and Alpine Research*. 2009. V. 41. № 4. P. 506–514.
64. *Smith S.E., Read D.J.* Mycorrhizal symbiosis. Academic Press, New York, 2008.
65. *Tedersoo L., Nara K.* General latitudinal gradient of biodiversity is reversed in ectomycorrhizal fungi // *New Phytologist*. 2010. V. 185. № 2. P. 351–354.
66. *Wang P., Ruijven J., Heijmans M. M.P.D., Berendse F., Maksimov Ayal, Maximov T., Mommer L.* Short-term root and leaf decomposition of two dominant plant species in a Siberian tundra // *Pedobiologia – J. Soil Ecology*. 2017. V. 65. P. 68–76.  
<https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2017.08.002>
67. *Väre H., Vestberg M., Euro S.* Mycorrhiza and root-associated fungi in Spitsbergen // *Mycorrhiza*. 1992. V. 1. № 3. P. 93–104.
68. *Zibzeev E.G., Sambyla Ch.N.* Phytomass Structure of Plant Communities of Humid High-Altitude Habitats of the Eastern Sayan Ranges: A Case Study of the Kryzhin Range // *Sibirskii Ekologicheskii Zhurnal*. 2011. V. 18. № 3. P. 395–403.

## Soils and Soil Cover of Mountainous Tundra Landscapes of the Polar Urals on Calcareous Rocks: Diversity, Taxonomy, Nitrogen and Carbon Patterns

E. V. Shamrikova<sup>1,\*</sup>, E. V. Zhangurov<sup>1</sup>, E. E. Kulyugina<sup>1</sup>,  
M. A. Korolev<sup>1</sup>, O. S. Kubik<sup>1</sup>, and E. A. Tumanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Biology, Komi Science Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Kommunisticheskaya ul., 28, Syktyvkar, 167982 Russia*

\*e-mail: [shamrik@ib.komisc.ru](mailto:shamrik@ib.komisc.ru)

Investigations of the landscapes of the Bolshoy Paipudynsky ridge (the Polar Urals) served as a key site to reveal the taxonomic diversity of soils on calcareous rocks, which results of both bioclimatic and geogenic factors (relief, thickness of eluvial and colluvial derivatives of calcareous rocks). It is shown that under various types of plant communities, soils of the post-lithogenic trunk in the Russian soil classification system are formed. They refer to several orders: cryometamorphic (Mollic Calcaric Stagnosols), lithozems (Folic Mollic Calcaric Leptosols), organo-accumulative (Mollic Leptic Calcaric Stagnosols), and gley soils (Folic Calcaric Gleysol). These soils occur either as small individual mapping units, or as ingredients of small soil associations. The mass of carbon and nitrogen organic forms in the ground phytomass (GP) ranges within 40–49 and 0.9–2.3%, respectively. The pool of above-ground phytomass ranges from 20 to 1600 g/m<sup>2</sup>. In each profile, the surface horizons have a maximum content of organic carbon and nitrogen (up to 40 and 2.5%, respectively). The C<sub>org</sub> and N<sub>org</sub> patterns in soils depend on the plant community production, the composition of litter and conditions for falloff decomposition. In all soil profiles, the C<sub>inorg</sub> content increases with the depth, reaching 12%. The mineral nitrogen content does not exceed 1%. The content of N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> displays maximums in the surface horizons, where it reaches 140 and 30 mg/kg, respectively.

**Keywords:** carbonates, Urals, soil classification, diagnostic horizons, above-ground phytomass, organic carbon, nitrogen, inorganic carbon, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>