

УДК 631.41

Посвящается светлой памяти Татьяны Алексеевны Соколовой

СОСТАВ ВОДНЫХ ВЫТЯЖЕК ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА, ПОЧВ НА КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ПОЛЯРНОГО УРАЛА

© 2021 г. Е. В. Шамрикова^{а, *}, Е. В. Жангуров^а, О. С. Кубик^а, М. А. Королев^а^а Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Коммунистическая, 28, Сыктывкар, 167982 Россия

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

Поступила в редакцию 14.12.2020 г.

После доработки 26.02.2021 г.

Принята к публикации 27.02.2021 г.

Проведен сравнительный анализ химического состава и свойств водорастворимых соединений почв на карбонатных породах, наземной фитомассы и вод территории северной части хребта Большой Пайпудынский (Полярный Урал). В водных вытяжках растительного материала отмечено преобладание ионов K^+ и Ca^{2+} (45–60 и 30–45%). При переходе от горизонтов О к минеральным горизонтам увеличивается роль Ca^{2+} . Однотипность состава поверхностных вод и водных вытяжек нижних горизонтов почв отражает черты, унаследованные от почв водосборной территории. Наиболее вариативны свойства группы гумусовых горизонтов: серогумусовых (АУ), перегнойно-темногумусовых (АН) и перегнойных (Н). Состав водных вытяжек фитомассы соответствует диапазонам: $S_{орг}$ 8–106, $N_{орг}$ 0.4–5.8, легкорастворимых солей 1.5–32 г/кг. Содержание всех компонентов при переходе к горизонту О уменьшается на 1–1.5 порядка и далее 1–2 порядка к минеральным горизонтам. Водные объекты охарактеризованы как ультрапресные. Кислотно-основные характеристики вод при отсутствии органических соединений определяются гидрокарбонатами и карбонатами щелочных и щелочноземельных металлов.

Ключевые слова: формы углерода и азота, щелочность почв, катионно-анионный состав, карбонаты

DOI: 10.31857/S0032180X21080153

ВВЕДЕНИЕ

Мерзлотные почвы горно-тундровых ландшафтов, сформированные на продуктах выветривания плотных карбонатных пород, занимают крайне незначительные площади [30]. Генезис этих редких уникальных образований, особенно в наиболее труднодоступных в транспортном отношении регионах, остается малоизученным [17, 23, 24]. Почвы на карбонатных породах (ПКП) отличаются как от зональных аналогов, так и друг от друга в зависимости от характера субстрата (щебнистости, гранулометрического, минералогического состава) и от биоклиматических условий [16]. К настоящему времени общие географогенетические закономерности и региональные особенности ПКП выявлены в широком спектре природных зон: от северной тайги до южной лесостепи, в условиях гумидного или субгумидного климата; определены классификационные положения; обозначены проблемы корреляции на почвенной карте РСФСР масштаба 1 : 2.5 млн и в системе новой классификации почв России [4, 8, 14, 16, 17, 19, 20, 23–25, 34, 35, 39, 41, 44].

Несмотря на обширный региональный охват, химический состав водорастворимой фракции почв на карбонатных породах и растительного материала исследован недостаточно. Детальное рассмотрение состава жидкой фазы почв на карбонатных породах связано с изучением природы их щелочности. Для почв аридных и семиаридных областей, таких как светло-каштановые, целинные и агрогенно-измененные почвы солонцового комплекса, а также в черноземах, определены показатели и компоненты, обуславливающие их щелочность [11–13, 22, 28, 36]. Установлено, что общая щелочность почв включает в себя количество карбонат- и гидрокарбонат-ионов, боратов, сульфидов, фосфатов, а также анионов органических кислот [10, 11]. Вклад последних в общую щелочность может быть существенным (более 90%) [12, 22, 28].

На примере обыкновенных черноземов и лугово-черноземных почв Каменной степи, сформированных на лёссовидных карбонатных суглинках, раскрыты закономерности накопления водорастворимых катионов. В частности, показана взаимосвязь содержания этих компонентов в поч-

венной толще с типом растительности. Так, по мнению авторов, существенное количество водорастворимых карбонатов Ca^{2+} и Mg^{2+} (до 0.4 и 0.1 г/кг соответственно, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 5.7–8.5) в черноземе под лесными насаждениями вызвано процессами выщелачивания и разложения лесной подстилки, основу которой составляют листья дуба, относительно обогащенные подвижными формами этих элементов. В черноземе залежного участка степи высокое содержание Ca^{2+} и Mg^{2+} в водной вытяжке (с верхним пределом в 0.5 и 0.1 г/кг соответственно, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 5.6–8.5) обусловлено интенсивными процессами разложения растительных остатков, при которых почвенные растворы насыщаются углекислотой, смещая карбонатно-кальциевое равновесие от малорастворимой формы карбонатов в пользу растворимой $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Пониженные концентрации водорастворимой фракции элементов (до 0.06 и 0.04 г/кг соответственно, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 6.3–8.6) в почве на пашне связывают с усиливающимися процессами нисходящей миграции почвенных растворов, а также с отчуждением растительных остатков с урожаем [36].

Компоненты водорастворимой фракции почв, отражающие типичные черты почвообразования водосборного бассейна, являются потенциальным источником формирования поверхностного и бокового внутрипочвенного стока, тем самым могут влиять на состав поверхностных вод, в том числе рек, ручьев, озер [6].

Почвенный покров гор высокой евразийской Арктики практически не изучен [54]. Одними из наименее исследованных на Полярном Урале являются почвы, сформированные на продуктах выветривания плотных карбонатных пород. В этой связи одним из наиболее приоритетных объектов для детального изучения состава и свойств водорастворимой фракции могут быть почвы на карбонатных породах северной части Уральского горного хребта, которым не уделялось достаточного внимания в предшествующие годы.

Цель работы – выявление закономерностей формирования состава водорастворимой фракции почв на карбонатных породах и водотоков северной части хребта Большой Пайпудынский (Полярный Урал). В задачи исследования входило определение содержания органических и неорганических форм углерода и азота, анализ катионно-анионного состава водных вытяжек из почв и наземной фитомассы, а также водотоков территории. Работа продолжает тему изучения почв в северной части хребта Большой Пайпудынский на правом берегу руч. Развильный [49].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Район исследований находится в южной части циркумполярной зоны и охватывает горную ланд-

шафтную зону Полярного Урала (координаты: 67°13'29" N; 65°38'17" E). Согласно геоэкологическому районированию для этой зоны характерна островная мерзлота [53]. Мощность многолетнемерзлых пород определяется высотной поясностью, геолого-гидрологическими и различными локальными факторами (крутизной и экспозицией склонов). На абсолютных отметках 150 и 700 м над ур. м. мощность мерзлой толщи составляет 90 и 400 м соответственно. В верхних частях выложенных склонов широко развиты криогенно-пятнистые формы микрорельефа, солифлюкционные террасы, выпучивание щебнистого и гравийно-древяного материала из рыхлых отложений.

Полевые исследования проводили методом заложения катены с протяженностью около 1.5 км в северной части хребта Большой Пайпудынский на правом берегу руч. Развильный (рис. 1), где широко развиты выходы массивных мраморизованных известняков на дневную поверхность, имеющих нижнедевонский возраст [49]. Сочетание ландшафтно-геоморфологических условий изучаемой территории, наряду со спецификой карбонатных почвообразующих пород создает предпосылки для формирования большого разнообразия типов и подтипов почв с высокой пространственной вариабельностью верхних и срединных горизонтов на ограниченной площади. В качестве непосредственных объектов исследования выбрано восемь ключевых участков (уч.) в горно-тундровом поясе на высотном профиле (табл. 1).

Растительные сообщества выбранных участков разделены по степени сомкнутости растительного покрова на две группы. На участках 1-ПУ, 3-ПУ и 6-ПУ растительность представлена разреженными (общее проективное покрытие (ОПП) 0–60%) группировками с доминированием *Dryas octopetala*. Участки 2-ПУ, 5-ПУ, 7-ПУ и 8-ПУ характеризуются более развитым растительным покровом (ОПП до 100%) с более разнообразным доминирующим видовым комплексом кальцефитов. В местообитаниях первой группы сообществ сформированы почвы: карболитозем перегнойно-темногумусовый (Calcaric Mollic Folic Leptosol (Humic)), перегнойно-темногумусовая остаточнок-карбонатная (Calcaric Leptic Skeletic Regosol), под второй группы – перегнойно-темногумусовая криометаморфическая остаточнок-карбонатная (Calcaric Mollic Leptic Stagnosol Skeletic), перегнойно-криометаморфическая глееватая остаточнок-карбонатная (Calcaric Stagnosol (Humic Skeletic)), перегнойно-темногумусовая квазиглеевая криометаморфическая остаточнок-карбонатная (Calcaric Folic Gleysol (Skeletic)). Перегнойно-криометаморфическая остаточнок-карбонатная и дерново-криометаморфическая остаточнок-карбонатная (Calcaric Skeletic Regosol Loamic) развивается под обеими группами сообществ. Подробная характеристика рассматриваемых почв, законо-

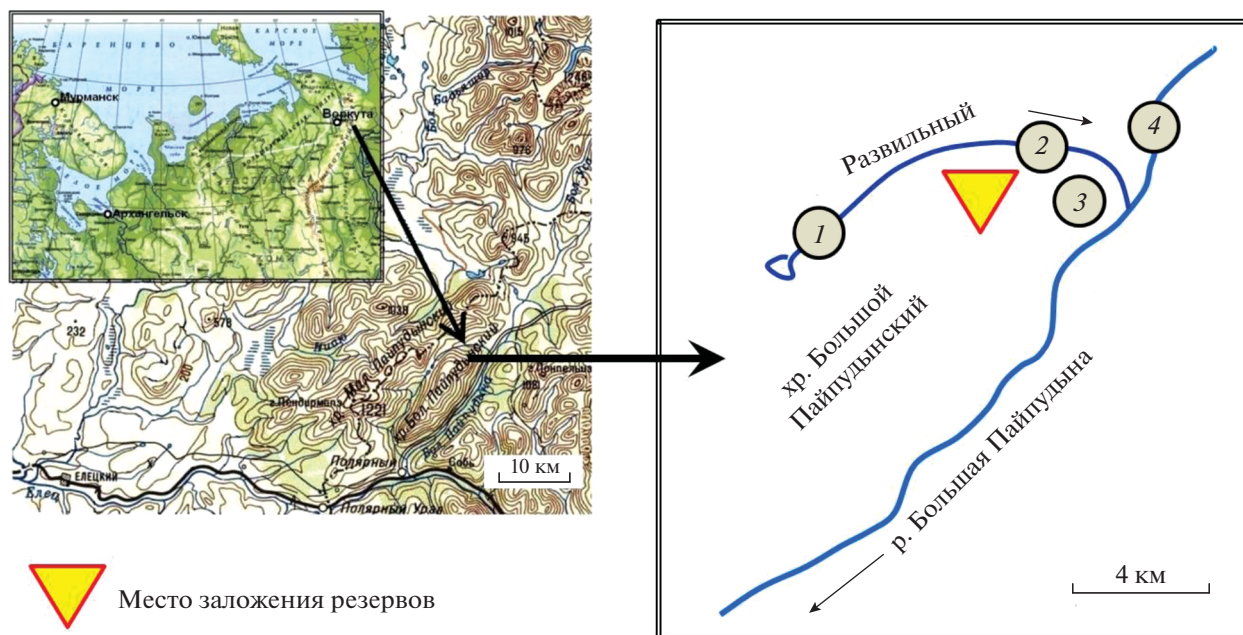


Рис. 1. Район исследований. Место отбора проб воды: 1 – верхнее течение руч. Развильный; 2 – нижнее течение руч. Развильный; 3 – карстовое озеро; 4 – р. Большая Пайпудына.

мерности распределения органических форм углерода и азота в них в связи с различной продуктивностью растительных сообществ представлены ранее [49].

В результате высокой щебнистости, наличия карбонатных пород по всему профилю (часто с поверхности) и провальной фильтрационной способности льдистая мерзлота в почве отсутствует. Мак-

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

Номер участка (высота над ур. м., м)	Название сообщества/общее проективное покрытие (%) / запасы наземной фiomассы (г/м ²)
1-ПУ (230)	Пятнистые дриадово-моховые тундры (<i>Dryas octopetala</i> L., <i>Oxytropis sordida</i> (Willd.) Pers., <i>Salix glauca</i> L., <i>Empetrum hermaphroditum</i> Hagerup, <i>Rhytidium rugosum</i> (Hedw.) Kindb. <i>Dicranum</i> sp.)/60/90.8 ± 0.9*
1-ПУ. Пятно (230)	Пятно без растительности/0/0
2-ПУ (235)	Разнотравно-осоково-моховое сообщество (<i>Carex sabyensis</i> Less, ex Kunth, <i>Silene acaulis</i> (L.) Jacq., <i>Hedysarum arcticum</i> B. Fedtsch, <i>Dicranum</i> sp.)/100/68.4 ± 3.7
3-ПУ (246)	Дриадово-травяное сообщество (<i>Dryas octopetala</i> L., <i>Silene acaulis</i> (L.) Jacq.)/60/112.8 ± 4.8
4-ПУ (246)	Травяно-ивковое сообщество (<i>Salix reticulata</i> L., <i>Lagotis minor</i> (Wild.) Standl., <i>Equisetum scirpoides</i> Michx., <i>Thalictrum alpinum</i> L.)/100/128.8 ± 15.6
5-ПУ (246)	Травяно-ивковое сообщество (<i>Betula nana</i> L., <i>Salix reticulata</i> L., <i>Dryas octopetala</i> L., <i>Hedysarum arcticum</i> B. Fedtsch., <i>Festuca ovina</i> L., <i>Geranium albiflorum</i>)/100/179.4 ± 37.1
6-ПУ (264)	Полигональные дриадовые тундры (<i>Dryas octopetala</i> L.)/25%/18.1 ± 1.2
6-ПУ. Пятно (264)	Пятно без растительности/0/0
7-ПУ (260)	Высокотравный луг (<i>Angelica archangelica</i> L.)/100%/1649 ± 599
8-ПУ (261)	Кустарничково-дриадово-моховое сообщество (<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.)/100%/1539 ± 350

* Стандартное отклонение.

симальное 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 [49]. Водный режим исследованных почв ксеромезоморфный, за исключением пегргойно-криометаморфической глееватой остаточно-карбонатной почвы (уч. 7-ПУ), который формируется в небольшом мезопонижении.

Отбор проб поверхностных вод выполняли с глубины 0.3–0.5 м (в зависимости от глубины водотока) в верхнем и нижнем течении руч. Развильный, в карстовом озере и в р. Большая Пайпудына (на 400 м вверх по течению от устья руч. Развильный). Отбор и транспортировку вод проводили в соответствии с нормативными правовыми документами, принятыми на территории Российской Федерации¹.

Растительный покров территории изучали с использованием методов закладки пробных площадей и маршрутных наблюдений. При выборе и описании пробных площадок использовали общепринятые геоботанические методы [3]. Количество надземной фитомассы растительных сообществ определяли методом укусов – 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 массу растительного материала.

Водные вытяжки из почв для определения катионно-анионного состава, щелочности, электропроводности и сухого остатка готовили в соотношении 1 : 50 для органогенных и 1 : 5 для минеральных. Для измерений рН и удельной электропроводности использовали надосадочную жидкость, для измерения массы плотного остатка и содержания ионов – фильтрат водных суспензий. Фильтрование осуществляли через фильтр “синяя лента”. Содержание хлорид-иона измеряли меркурометрическим методом, сульфат-иона – турбидиметрическим, ионов натрия и калия – пламенной фотометрией, кальция и магния – атомной абсорбцией. Общую щелочность объектов определили титриметрически до рН 4.4.

Содержание общего и неорганического углерода и азота водных вытяжек из почв и вод ($C_{В-общ}$, $C_{В-неорг}$, $N_{В-общ}$) измеряли методом высокотемпературного каталитического окисления с бездисперсионной ИК-регистрацией на анализаторе общего углерода ТОС $V_{СРН}$. Окисление соединений углерода водных вытяжек происходит при температуре от 550 до 1000°C в присутствии кислорода или кислородсодержащего газа и катализатора до диоксида углерода(IV) и последующем определении общего и неорганического углерода с исполь-

зованием детектора инфракрасного излучения. Методика распространяется на питьевую, природную (поверхностная, подземная) и сточную воды, погрешность измерения составляет 12%. Ранее показана возможность использования данной методики при анализе водных вытяжек из почв [46]. Водные вытяжки для измерения углерода органических соединений готовили в соотношении 1 : 25 для органогенных и 1 : 2.5 для минеральных.

Содержание неорганического азота ($N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$) определяли фотометрически на спектрофотометре КФК-3 (табл. 2, 3). Углерод и азот органических соединений водных вытяжек из почв ($C_{орг}$, $N_{орг}$) и вод ($C_{В-орг}$, $N_{В-орг}$) рассчитывали по разности содержаний общих и неорганических форм элементов. Значения рН почв и вод измеряли на универсальном иономере Анион-4100 (Россия). Аналитические данные получены в экоаналитической лаборатории, а также отделе почвоведения Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Индексация горизонтов и классификация почв дана согласно “Полевому определителю почв России” [33] и системе классификации WRB [29].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наземная фитомасса. Показатель актуальной кислотности вытяжек из наземной фитомассы колеблется в диапазоне рН_{Н₂О} 5.5–6.6. Наименьшими значениями рН отличаются водные вытяжки растительного материала уч. 1-ПУ, 5-ПУ, 7-ПУ. Реакция водной вытяжки из наземной фитомассы разнотравно-осоково-мохового сообщества (2-ПУ) и полигональных дриадовых тундр (6-ПУ) близка к нейтральной.

Содержание углерода водорастворимых органических соединений в растительном материале большинства участков соответствует 70–100 г/кг с максимальным значением в фитомассе дриадовотравяного сообщества (уч. 3-ПУ). Наиболее обеднена органическим углеродом водная вытяжка из наземной фитомассы кустарничково-дриадово-мохового сообщества (8-ПУ), $C_{орг} = 8$ г/кг. Водорастворимая фракция углерода названных объектов соответственно составляет 14–22 и 2% от общего его содержания.

Водорастворимый азот растительного материала всех участков представлен только органической формой. Содержание $N_{орг}$ колеблется в диапазоне от 0.4 (уч. 8-ПУ) до 5.8 г/кг (уч. 7-ПУ). Экстрагируемость азотсодержащих органических соединений водой различна. Низкая их растворимость (4–7% от азота общего содержания) свойственна наземной фитомассе дриадово-травяного и кустарничково-дриадово-мохового сообществ (уч. 3-ПУ и 8-ПУ). В остальных случаях доля водорастворимого органического азота от

¹ ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2008. 51 с.

Таблица 2. Химический состав водных вытяжек из почв и наземной фитомассы

Горизонт	Глубина, см	pH _{H2O}	ае, мкСм/см	Сухой остаток, %	C _{орг}	N _{орг}	г/кг					SO ₄ ²⁻	ОЩ, ммоль(экв)/кг
							Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻		
Участок 1-ПУ. Дерново-криогеоморфическая остаточно-карбонатная почва (Calcargic Skeletic Regosol Loamic)													
Фитомасса		5.48	—	0.8	71.758	1.293	3.792	0.623	5.053	0.041	1.036	0.653	121.31
O	0-1	6.67	58.4	0.6	1.340	0.085	0.476	0.079	0.149	0.048	0.085	0.085	24.59
AY1	1-5	6.99	69.3	0.1	0.269	0.011	0.076	0.010	<п.о.	0.008	0.015	0.018	3.27
AY2	5-15	7.33	61.3		0.258	0.012	0.083	0.009		0.007	0.011	0.016	3.67
CRM1	15-35	7.72	67.0	<п.о.	0.093	0.003	0.084	0.009		0.007	0.006	0.008	4.40
CRM2 _{Ca}	35-60	7.90	55.0		0.062	0.001	0.063	0.008		0.007	0.007	0.008	3.47
Пятно без растительности (правая часть передней стенки разреза 1-ПУ)													
C	0-1	7.84	51.10		0.086	0.004	0.077	0.007		0.009	0.005	0.010	4.13
AY@	1-5	7.87	45.60		0.128	0.003	0.056	0.006		0.008	0.006	0.009	3.07
AY@	5-20	7.57	41.80	<п.о.	0.097	0.001	0.055	0.007	<п.о.	0.008	0.006	0.010	3.00
CRM _{Ca}	20-30	7.89	32.90		0.080	0.002	0.050	0.007		0.006	0.004	0.006	2.80
BC _{Ca}	30-60	8.05	38.80		0.075	0.001	0.056	0.007		0.005	0.004	<п.о.	2.93
Участок 2-ПУ. Дерново-криогеоморфическая остаточно-карбонатная почва (Calcargic Skeletic Regosol Loamic)													
Фитомасса		6.32	1231	24.1	76.705	4.052	6.366	1.050	12.210	0.067	3.231	3.029	264.26
Oao	0-2	7.00	83.7	1.1	2.950	0.272	0.721	0.088	0.283	0.028	0.128	0.141	36.72
AYao	2-5	6.71	194.8		1.003	0.071	0.252	0.022	0.020	0.017	0.040	0.075	5.33
AY1	5-15	7.47	69.0		0.149	0.007	0.086	0.010	<п.о.	0.006	0.008	0.017	4.20
AY2	15-30	7.62	57.9	<п.о.	0.093	0.004	0.075	0.008		0.007	0.006	0.011	4.33
CRM1	30-55	7.92	29.3		0.061	0.001	0.037	0.005		0.003	0.009	<п.о.	2.10
CRM2 _{Ca}	55-70	7.95	32.3		0.021	0.001	0.028	0.004		0.004	0.003		2.07
BC _{Ca}	70-100	8.10	34.1		0.059	0.001	0.040	0.006		0.005	0.002		2.53

Таблица 2. Продолжение

Горизонт	Глубина, см	pH _{H2O}	ае, мкСм/см	Сухой остаток, %	C _{орг}	N _{орг}	г/кг						ОЩ, ммоль(экв)/кг
							Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	
Участок 3-ПУ. Карболитозем перегнойно-темногумусовый (Calcargic Mollic Folic Leptosol (Humic))													
Фитомасса		—	—	—	106.432	1.316	—	—	—	—	—	—	—
O	0–2	7.22	69.0	1.5	1.647	0.076	0.709	0.085	0.168	0.017	0.090	0.069	38.69
Oao	2–4	7.40	141.5	0.6	0.608	0.062	0.581	0.067	0.033	0.016	0.100	0.047	27.38
АН1	4–15	7.50	133.1	0.1	0.143	0.027	0.163	0.012	<п.о.	0.005	0.031	0.017	5.13
АН2	15–20	7.69	106.3	0.1	0.088	0.020	0.157	0.012	0.005	0.005	0.012	0.017	6.40
Полоса		7.70	119.7	<п.о.	0.111	0.032	0.032	0.010	0.004	0.004	0.008	0.013	5.27
Участок 4-ПУ. Перегнойно-темногумусовая остаточно-карбонатная почва (Calcargic Leptic Skeletic Regosol)													
Фитомасса		6.1	1356	27.0	92.108	3.746	8.962	1.372	9.478	0.061	2.540	5.038	359.34
O	0–2	7.00	74.1	1.06	2.958	0.243	0.769	0.092	0.348	0.022	0.121	0.169	39.34
АН1	2–10	7.34	99.9	0.1	0.582	0.042	0.166	0.016	<п.о.	0.012	0.022	0.054	6.67
АН2	10–30	7.48	83.3	0.1	0.145	0.008	0.118	0.013	0.012	0.012	0.011	0.021	5.00
АН3	30–45	7.62	74.1	<п.о.	0.122	0.005	0.096	0.008	0.008	0.007	0.007	0.015	5.13
BC _{Ca}	45–55	7.80	76.7	0.1	0.084	0.002	0.099	0.009	0.009	0.009	0.018	0.009	5.00
C	55–65	7.69	84.3	0.1	0.115	0.004	0.096	0.008	0.008	0.008	0.009	0.016	4.53
Участок 5-ПУ. Перегнойно-темногумусовая криогеоаморфическая остаточно-карбонатная почва (Calcargic Mollic Leptic Stagnosol Skeletic)													
Фитомасса		5.76	1020	25.6	72.612	2.521	7.107	1.083	11.002	0.050	2.296	2.484	266.07
O	0–2	6.90	73.4	1.1	2.043	0.193	0.659	0.087	0.227	0.079	0.105	0.151	38.03
АН1	2–5	6.59	137.9	<п.о.	0.902	0.050	0.149	0.018	<п.о.	0.018	0.044	0.068	5.60
АН2	5–15(20)	6.97	65.8	0.1	0.202	0.010	0.079	0.011	0.017	0.017	0.017	0.029	3.40
CRM1	15(20)–30	7.40	24.0	<п.о.	0.115	0.005	0.050	0.007	0.011	0.011	0.009	0.018	2.33
CRM2 _{Ca}	30–45	7.73	72.9	0.1	0.073	0.002	0.093	0.009	0.006	0.006	0.007	0.008	4.47

Таблица 2. Окончание

Горизонт	Глубина, см	pH _{H₂O}	ае, мкСм/см	Сухой остаток, %	С _{орг}	N _{орг}	г/кг						ОЩ, ммоль(экв)/кг
							Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	
Участок 6-ПУ. Перегнойно-темногумусовая остаточно-карбонатная почва (Calcaric Lepitic Skeletic Regosol)													
Фитомасса		6.61	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
О	0-1	7.57	54.9	0.7	1.043	0.061	0.604	0.077	0.095	0.032	0.043	0.056	33.93
АН1	1-10(15)	8.04	80.2	0.1	0.084	0.012	0.094	0.010	<п.о.	<п.о.	0.007	0.007	4.87
АН2	10(15)-25	8.08	95.9		0.099	0.010	0.109	0.011	0.005	0.007	0.007	0.012	5.93
АН3	25-35	7.98	93.4	<п.о.	0.094	0.007	0.113	0.010	0.005	0.006	0.006	0.012	5.60
BC _{Ca}	35-45	8.32	29.6		0.012	0.001	0.030	0.005	0.003	0.003	0.003	0.001	1.53
С _{Ca}	45-...	8.50	35.5		0.023	0.002	0.057	0.008	0.003	0.002	0.002	0.001	3.27
Пятно без растительности (левая часть передней стенки разреза 6-ПУ)													
С	0-1	7.76	84.8		0.093	0.027	0.106	0.010	<п.о.	0.003	0.009	0.013	4.10
АН1	1-10	7.93	67.3	<п.о.	0.061	0.009	0.090	0.009	0.004	0.005	0.005	0.007	4.40
АН2	10-25	7.89	88.4		0.079	0.014	0.110	0.010	0.004	0.005	0.005	0.012	5.40
АН3	25-35	8.00	95.5		0.105	0.009	0.125	0.010	0.004	0.006	0.006	0.009	7.07
Участок 7-ПУ. Перегнойно-криогеоморфическая глееватая остаточно-карбонатная почва (Calcaric Stagnosol (Humic, Skeletic))													
Фитомасса		5.76	1772	27.2	90.453	5.773	13.663	2.638	15.105	0.045	4.491	11.415	280.66
О	0-2	5.58	121.6	2.5	8.381	0.590	0.881	0.121	0.595	0.146	0.175	0.555	14.33
Н1	2-10	6.30	41.1	0.8	1.801	0.134	0.503	0.064	0.016	0.054	0.090	0.129	16.67
Н2	10-20	6.49	28.1	0.6	0.613	0.049	0.377	0.050	<п.о.	0.032	0.116	0.085	13.00
G	20-27	6.61	63.5		0.206	0.012	0.064	0.008	0.008	0.045	0.045	0.016	1.57
CRM1	27-50	7.61	75.5	<п.о.	0.054	0.005	0.086	0.008	0.009	0.006	0.006	0.011	4.40
CRM2 _{Ca}	50-65	7.97	81.4		0.046	0.004	0.085	0.009	0.008	0.005	0.005	0.011	4.57
BC _{Ca}	65-80	8.04	78.8		0.034	0.003	0.079	0.009	0.007	0.005	0.005	0.010	4.33
Участок 8-ПУ. Перегнойно-темногумусовая квазиглеевая криогеоморфическая остаточно-карбонатная почва (Calcaric Folic Gleysol (Skeletal))													
Фитомасса		6.01	96.4	2.2	7.576	0.366	0.668	0.119	0.664	0.039	2.499	0.223	25.41
Очс	0-5	6.41	—	—	6.936	0.324	—	—	—	—	—	—	—
О	5-10	6.77	80.6	1.3	2.734	0.210	0.788	0.110	0.304	0.080	0.113	0.144	28.69
АН1	10-12	6.91	21.1		0.613	0.049	0.031	0.005	<п.о.	0.004	0.004	0.007	1.33
АН2	12-20	6.95	20.6	<п.о.	0.379	0.031	0.030	0.005	0.003	0.007	0.007	0.004	1.20
Qg ^{Ca}	20-35	7.72	68.1		0.089	0.005	0.078	0.011	0.006	0.004	0.004	0.011	4.00
Q/CRM _{Ca}	35-55	7.99	60.5		0.023	0.002	0.067	0.009	0.006	0.003	0.003	0.006	3.73

Примечание. Здесь и далее: ае — электропроводность, ОЩ — общая щелочность, прочерк — не определено, <п.о. — ниже предела обнаружения.

Таблица 3. Химический состав поверхностных вод

Наименование одного объекта	Координаты, высота над ур. м.	рН	Массовая концентрация, мг/дм ³								
			C _{B-неорг}	N _{B-общ}	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
Руч. Развильный, верховье	67°13'42.3" N, 65°33'56.7" E, h = 400 м	7.27	2.00	<п.о.	23	<6.0	6.8	4.2	0.47	0.14	1.03
Руч. Развильный, нижнее течение	67°13'18.2" N, 65°39'05.4", h = 215 м	7.44	9.1	<п.о.	59	<6.0	5.6	16.4	0.69	0.20	0.92
Карстовое озеро	67°13'07.2" N, 65°39'10.2" E, h = 210 м	8.92	7.6	0.86	54	12.9	5.2	14.3	0.62	0.20	0.87
Р. Большая Пайпудына	67°13'00.5" N, 65°39'20.4" E, h = 150 м	8.29	11.7	<п.о.	80	17.3	9.1	21.0	1.11	0.24	0.96

Примечание. Массовая концентрация ионов C_{B-орг}, N_{B-NH₄⁺}, N_{B-NO₃⁻}, N_{B-NO₂⁻}, Cl⁻, PO₄³⁻ ниже предела обнаружения.

общего его содержания равна 13–20%. Названные особенности накопления растворимых C_{орг} и N_{орг} в наземной части растений определяют широкий диапазон колебаний C/N вытяжек: от 20 разнотравно-осоково-моховой тундры и высоко-травного луга (уч. 2-ПУ, 7-ПУ) до 60–94 у сообществ с доминированием дриад (уч. 1-ПУ, 3-ПУ, 6-ПУ). Содержание органических форм углерода и азота вытяжек не взаимосвязано ($R^2 = 0.24$). Полученные результаты близки к сделанным ранее выводам о содержании водорастворимых C_{орг} и N_{орг} в наземной фитомассе доминантов современных растительных сообществ прибрежной части Хайпудырской губы Баренцева моря. Высокое содержание органического углерода и азота исследуемого в данной работе растительного материала соответствуют концентрации этих компонентов в водных вытяжках наземной фитомассы солеустойчивых травянистых растений, низкое – представителей зональной тундровой растительности (мохообразных, лишайников, кустарничков) [48].

Растительный материал кустарничково-дриадово-мохового сообщества (уч. 8-ПУ) характеризуется не только минимальным содержанием водорастворимых органических соединений, но и самой низкой суммарной концентрацией растворимых катионов (1.5 г/кг). Максимальное их содержание (32 г/кг) свойственно фитомассе высоко-травного луга (уч. 7-ПУ). Для всех участков в общей массе растворимых катионов наземной фитомассы преобладает K (45–60%), несколько ниже вклад Ca (30–45%), роль Mg и Na незначительна (5–8 и 0–2%) (табл. 4). Закономерности накопления водорастворимых и валовых форм катионов в наземной части растений аналогичны. Согласно литературным сведениям, минималь-

ным суммарным содержанием этих четырех элементов (<1.5%) характеризуется зола *Pleurozium schreberi* [37], господствующего в напочвенном покрове уч. 8-ПУ [49]. Зольность травянистых растений, таких как *Veratrum lobelianum*, *Equisetum arvense* L., относящихся к доминантам уч. 7-ПУ, до 10 раз выше [26, 37]. Кроме того, последовательности накопления ионов в водных вытяжках наземной фитомассы травянистых растений (злаков, осок, бобовых, хвощей) идентичны рядам относительных масс зольных элементов этих объектов [18, 26, 37]. Для мхов, лишайников, дриад, кустарников и кустарничков аккумуляция зольных элементов, согласно этим же авторам, в основном имеет иную последовательность: Ca > K > Mg > Na. Однако есть сведения [18], что соотношение Ca и K в наземной фитомассе обусловлено не только видовыми особенностями растений, но и эдафическими факторами. В частности, на выходах карбонатных пород из-за насыщенности верхнего горизонта ионами Ca, в наземной фитомассе, как правило, преобладает K. В то время как на кислых породах, напротив, доминирует Ca [40]. K и Ca принадлежит важная роль в адаптации растений к низким температурам [7, 45].

В анионном составе вытяжек из растительного материала первых семи участков преобладают (50–80%) ионы, определяемые титриметрически. Менее всего этот компонент представлен в водных вытяжках из материала кустарничково-дриадово-мохового сообщества уч. 8-ПУ (36%). Соотношение долей хлорид- и сульфат-ионов в общей массе анионов различно. Максимальная роль первого (59%) отмечена в водных вытяжках растительного материала уч. 8-ПУ, второго – уч. 7-ПУ (35%).

Таблица 4. Относительные массовые доли катионов в водных вытяжках из наземной фитомассы и почв, а также в поверхностных водах

Объект исследований		Относительные массовые доли катионов, %	
Фитомасса		K (45–60) > Ca (32–45) > Mg (5–8) > Na (0–2)	
Почвы	органогенные горизонты	Ca (50–70) > K (12–34) > Mg (7–10) > Na (2–8)	
	минеральные горизонты	Ca (80–90) > Mg (7–10) > Na (2–10)	
Вода	руч. Развильный	верхнее течение	Ca (72) > Na (18) > Mg (8) > K (2)
		нижнее течение	Ca (90) > Mg (5) ~ Na (5) > K (1)
	карстовое озеро р. Большая Пайпудына		

Оценка катионно-анионного баланса изучаемых систем в ммоль(экв)/кг показала, что характерным признаком водорастворимых соединений фитомассы первых семи участков является 1.5–2-кратное превышение суммы количества эквивалентов катионов над анионами. Следовательно, значительная часть катионов вытяжек может быть представлена солями растворимых органических кислот, не учтенных в ходе титрования вытяжек до рН 4.4, то есть солями наиболее сильных кислот. В соответствии со значениями pK_a в интервале рН 4–5 протонируются анионы щавелевой, винной, бензойной и лимонной (по 2 ступени) кислот, при рН 3–4 – анионы лимонной и винной (по 1 ступени), муравьиной, гликолевой кислот. Названные низкомолекулярные соединения обнаружены в почвах тайги и тундры [47]. Помимо низкомолекулярных соединений кислот природы вытяжки содержат и растворимые фульвокислоты, преобладающая часть карбоксильных групп которых характеризуется pK_a от 4 до 5 [56]. Но в зависимости от положения в молекуле эти группы могут иметь и более сильнокислотные свойства [55]. Помимо анионов органических кислот катионно-анионный баланс водных вытяжек могут обеспечивать фосфат-ионы, накапливающиеся в растительных тканях. Анионы фосфорной кислоты участвуют в синтезе фосфорорганических соединений и регуляции внутриклеточного обмена [2]. Бедность водорастворимыми катионами фитомассы уч. 8-ПУ обуславливает обратное соотношение – количество анионов минеральных кислот в 1.5 раза больше, чем катионов. Очевидно, баланс системы достигается за счет присутствия H^+ .

Существенно бóльшие (до 85 раз) запасы наземной фитомассы уч. 8-ПУ позволяют предположить, что наземная часть кустарничково-дриадово-мохового сообщества может обеспечивать сопоставимые с другими участками (за исключением уч. 7-ПУ) масштабы поступления органических и минеральных компонентов вытяжек в почву под воздействием атмосферных осадков.

Почвы. Исследуемые почвы характеризуются широким диапазоном значений рН водных вы-

тяжек (от 5.6 до 8.5) с наибольшими величинами в почвах пятен (рН_{H₂O} 7.5–8.5). Значения рН поверхностных горизонтов почв и растительного материала соответствующих участков взаимосвязаны ($R^2 = 0.62$). Выражен единственный тип радиального профиля кислотности – увеличение значений рН_{H₂O} с глубиной.

Максимальная проработка профиля наблюдается в почве под травянистой растительностью (уч. 7-ПУ), где в пределах 80-сантиметровой толщи значение рН_{H₂O} увеличивается от поверхности на 2.5 ед. Данный участок, как указано выше, находится в небольшом мезопонижении. Почвенный профиль имеет существенную мощность и единичные включения обломков мраморизированных известняков с глубины 50 см. Вероятно, верхняя толща сформирована на переотложенных бескарбонатных супесчано-легкосуглинистых отложениях водно-ледникового генезиса с сопредельного макросклона хребта Большой Пайпудинский [21], что может в значительной степени влиять на значения рН. Однако данная гипотеза требует дополнительных исследований. Кроме того, лучшей “промывке” профиля может способствовать большее накопление снега и некоторая обводненность участка в периоды активного снеготаяния. Вследствие этого возникает застойно-промывной тип водного режима, что наряду со средне-тяжелосуглинистым гранулометрическим составом приводит к отчетливому формированию глеевого горизонта G с серовато-сизой окраской (10YR 4/2) в верхней части профиля [49].

Содержание растворимых форм углерода и азота в горизонте O почв на порядок меньше по сравнению с фитомассой. В составе общего водорастворимого азота почв присутствие неорганической формы элемента также не обнаружено. Незначительная и практически неизменная с глубиной концентрация водорастворимых форм обоих элементов отмечена в почвах пятен.

Для остальных почв характерно накопление растворимой фракции органических форм C и N в поверхностных горизонтах. Следует отметить,

что на уч. 1-ПУ, 3-ПУ и 6-ПУ, где доминирует *Dryas octopetala*, растительность представлена преимущественно разреженными группировками (ООП 25–60%). В данных разрезах поверхностные горизонты представлены подстилочно-торфянистыми (в том числе с признаками грубогумусовой смеси различного материала, состоящего из механической смеси различных по степени разложения органических остатков с минеральными компонентами) [49]. Содержание органических форм углерода и азота в водных вытяжках из горизонта О этих участков незначительно: $C_{\text{орг}} < 1.6$, $N_{\text{орг}} < 0.07$ г/кг. Максимальны их значения в почве под высокотравным лугом $C_{\text{орг}} = 8.3$, $N_{\text{орг}} = 0.6$ г/кг. Доля растворимой фракции углерода и азота в первом случае составляет менее 1% от содержания элементов в почвах, во втором – более 2%.

Вне зависимости от генезиса почв нижняя часть профилей содержит сопоставимые с почвами пятен количества водорастворимых форм $C_{\text{орг}}$ и $N_{\text{орг}}$. На уч. 6-ПУ вследствие криотурбаций, выражена инверсия содержания органических углерода и азота почв [49]. Однако изменение содержания водорастворимых органических соединений в этом профиле не выявляет наличие криотурбационных явлений столь очевидно.

Неорганический углерод в водных вытяжках из почв представлен карбонат- и гидрокарбонат-ионами. Карбонат-ион переходит в раствор в соответствии с реакцией растворения кальцита:

$$\text{CaCO}_3(\text{осадок}) \leftrightarrow \text{CaCO}_3(\text{насыщенный раствор}) \rightarrow \text{Ca}^{2+}_{(\text{раствор})} + 2\text{CO}_3^{2-}_{(\text{раствор})}$$

(произведение растворимости $\text{PR} = 3.8 \times 10^{-9}$). Гидрокарбонат-ион образуется в результате гидролиза. Сочетание показателей кислотно-основного состояния горизонта С (45–...) перегнойно-темногумусовой остаточно-карбонатной почвы (уч. 6-ПУ): $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} 8.5$, общая щелочность 3.3 ммоль(экв)/кг – свидетельствует, что источником щелочности является карбонат-ион [13]. Как было отмечено выше, данный субстрат представляет собой карбонат кальция. К засоленным эта почва не относится, так как ее общая щелочность ниже порогового значения в 14 ммоль(экв)/кг [13]. В остальных минеральных горизонтах исследованных почв $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} < 8.5$, общая щелочность 1.2–7.1 ммоль(экв)/кг, следовательно, согласно [13], общая щелочность обусловлена гидрокарбонатами и анионами органических кислот.

Значения общей щелочности поверхностных горизонтов О во всех случаях многократно больше щелочности в минеральной толще. Это связано с накоплением органических кислот, титруемых до pH 4.4. Кроме того, верхняя часть профилей более обогащена адсорбированным CO_2 – продуктом метаболизма почвенных мик-

роорганизмов и дыхания корней растений. При наличии карбонатов (например, горизонт О почвы уч. 6-ПУ) еще одной причиной может быть способ приготовления вытяжек. Десятикратное увеличение соотношения почва : раствор (1 : 50) влияет на ионообменные равновесия систем. Снижение парциального давления CO_2 в газовой фазе водных суспензий (удаление CO_2), происходящее по мере добавления воды, приводит к повышению концентраций ионов CO_3^{2-} , гидролизующихся до гидрокарбонат-ионов, определяющих щелочность. Названные процессы вызывают рост pH [13]. Единственный профиль, в котором общая щелочность увеличивается с глубиной – пятно без растительности на уч. 6-ПУ. Нарушение общей закономерности связано с проявлением криотурбационных явлений, вызванных максимальным промерзанием почв на вершине увала.

Содержание катионов в поверхностных горизонтах О почв на 1–1.5 порядка меньше, чем в фитомассе соответствующих участков за счет кратного уменьшения масс Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ . Концентрация ионов Na^+ в отдельных случаях в горизонте О (2-ПУ, 5-ПУ, 7-ПУ) несколько больше, чем в растительном материале. Наиболее богата катионами водорастворимая фракция поверхностных горизонтов почвы под разнотравным лугом (1.7 г/кг), как и наземная фитомасса этого участка (рис. 2). В гумусовых горизонтах этого профиля сумма катионов достигает 0.5 г/кг, что сопоставимо с показателем, полученным для черноземов [36]. В минеральных горизонтах общая концентрация катионов не превышает 0.1 г/кг.

Бедность растворимыми катионами обнаруживают поверхностные горизонты почв, формирующиеся под дриадами уч. 1-ПУ, 3-ПУ и 6-ПУ (0.8–1 г/кг), где, как уже указывалось, растительность представлена преимущественно разреженными группировками. В этих объектах содержание ионов Ca и Mg в 1.5, Na – в 4.5, K – 6.5 раз меньше по сравнению с аналогичными показателями горизонта О участка 7-ПУ. Еще более бедны катионами водные вытяжки из торфяных почв зоны тундры и лесотундры Республики Коми (<0.6 г/кг, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} 3.7$ –4.9) [50, часть данных не опубликована].

По сравнению с растительным материалом изменяется и относительное содержание отдельных катионов. Уменьшается вклад ионов калия (12–34%), напротив, возрастает роль Na (до 8%) и Ca (50–70%). В анионном составе возрастает вклад анионов, формирующих щелочность почв (90–95%). Доминирование Ca^{2+} среди катионов и титруемой щелочности в анионной составляющей вытяжек в большей степени характерно для горизонта О почвы уч. 6-ПУ, сформированной на вершине увала на элювии мраморизированных известня-

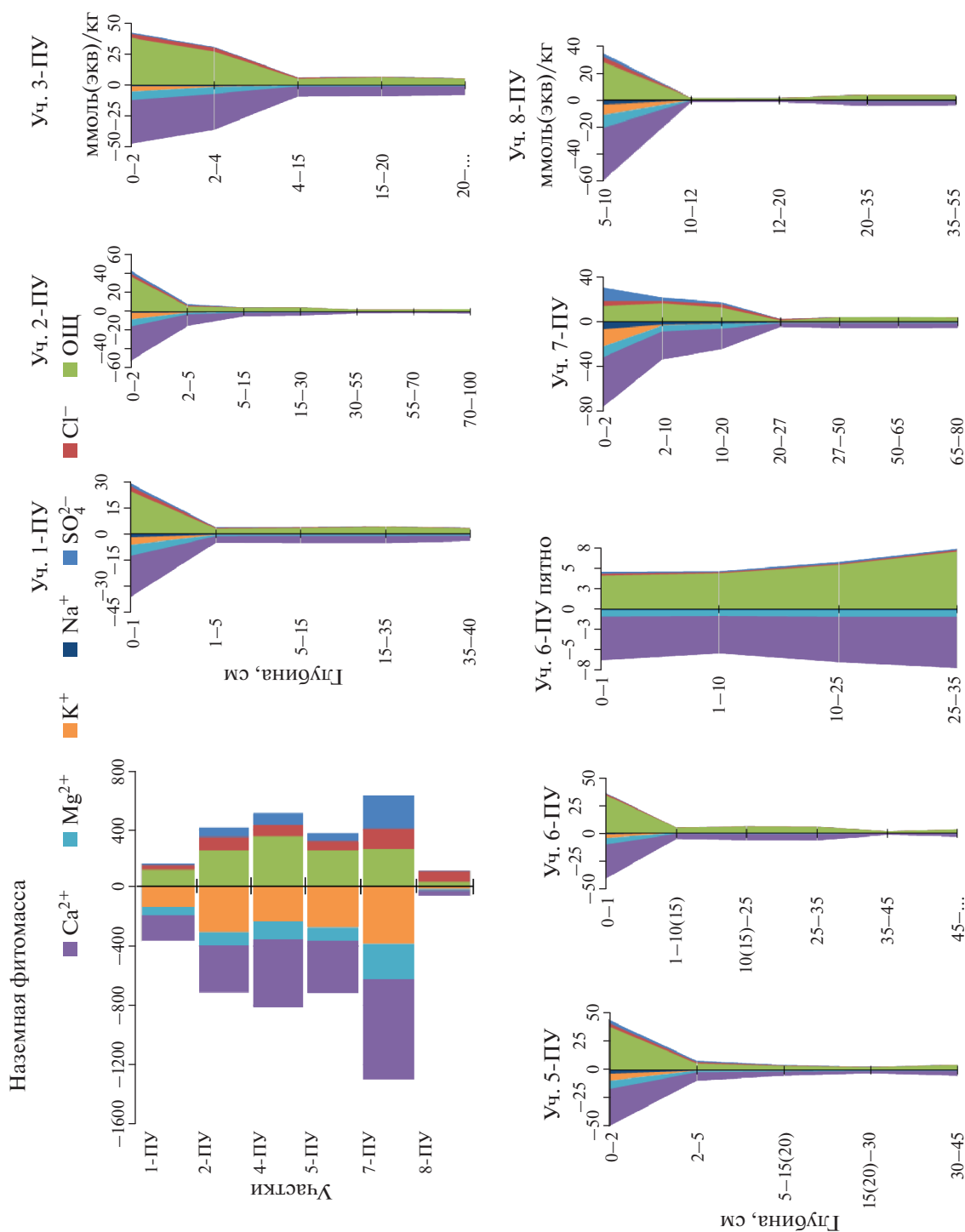


Рис. 2. Солевые профили наземной фитомассы и почв изучаемых участков (уч.). Отрицательные значения содержания катионов выбраны условно.

ков, вероятно, за счет литологического фактора. Почвенный профиль на данном участке характеризуется максимальным содержанием скелетно-грубообломочной фракции (содержание частиц >1 мм составляет 50–75%), при этом фракции с размерностью 1–2 мм являются наиболее вывет-

релыми (легко крошится в руках при механическом воздействии).

Содержание катионов в составе растворимых соединений с глубиной существенно уменьшается. Концентрация ионов К меньше предела обнаружения. Для этого иона характерна склонность

сорбироваться глинистыми минералами (2 : 1) [38] почв, пород, донных отложений, кроме того, выражена способность задерживаться растениями в процессе их питания и роста. Эти факторы могут приводить к меньшей подвижности ионов калия по сравнению с натрием [27]. Вне зависимости от генезиса почв в вытяжках из минеральных горизонтов почв доминируют ионы кальция (80–90%), анионов – ионы, определяющие щелочность (80–97%).

Содержание водорастворимых катионов в поверхностных и гумусовых горизонтах, как и в фитомассе (и, вероятно, по тем же причинам), в 1.4–2.5 раз больше, чем анионов. Для основного массива минеральных горизонтов катионно-анионный баланс соблюдается за счет измеряемых компонентов.

Электропроводность водных вытяжек всех объектов (фитомассы, органогенных и минеральных горизонтов) тесно взаимосвязана с суммарной молярной концентрацией эквивалентов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ ($R^2 = 0.94$). Солевой максимум всех почв приурочен к поверхностной толще. Содержание солей (сухой остаток) в почвах в основном не превышает 2% и коррелирует с содержанием водорастворимого органического углерода ($R^2 = 0.80$) и суммарной массой катионов ($R^2 = 0.87$). С глубины 30 см масса сухого остатка не превышает предела обнаружения. Среди минеральных горизонтов более всего растворимых солей содержат гумусовые горизонты перегнойно-криометаморфической глееватой остаточно-карбонатной почвы (уч. 7-ПУ) – 0.6–0.8%.

Данные дискриминантного анализа (рис. 3) иллюстрируют дифференциацию исследуемых объектов в однородные группы по комплексу показателей химического состава водных вытяжек. Деление на группы определяется природой субстрата: 1) фитомасса, 2) органогенные, 3) гумусово-аккумулятивные, а также 4) срединные и нижние горизонты. Тем самым в пределах каждого участка подтверждается факт трансформации состава водных вытяжек при переходе от одного типа субстрата к другому. Наиболее вариативны свойства группы гумусовых горизонтов: серогумусовых (АУ), перегнойно-темногумусовых (АН) и перегнойных (Н). Как было показано ранее, формирование 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 [49].

Водные объекты. Процесс формирования химического состава природных вод весьма сложен. Он совершается под воздействием разнообразных факторов, среди которых особенность гидрологического режима, соотношение зимних и летних

осадков, тип питания и др. [31]. В исследуемом регионе Полярного Урала основными источниками питания рек являются атмосферные осадки (снеговые и дождевые воды), а также талые воды ледников. Соотношение источников питания рек (от объема годового стока) следующее: снеговое (70%), снежниково-дождевое (20%), подземное (10%). Водный режим рек характеризуется весенне-летним половодьем и летними паводками, когда реализуется до 80–85% годового стока [9]. Значительным перестройкам химического состава поверхностных вод высокоширотных экосистем (особенно горных из-за большей солнечной радиации) способствует и наблюдающееся на протяжении последних 10–20 лет потепление, сопровождающееся значительным сокращением площади снежного и ледового покрова [1, 51].

Концентрация водорастворимой фракции углерода в минеральных горизонтах почв, расположенных у подножия хребта (1-ПУ, 2-ПУ) в 80–120 м от руч. Развильный, составляет 25–100 мг/дм³. Вероятно, факт преимущественного атмосферного и ледникового питания водоемов, в первую очередь определяет отсутствие растворенного органического углерода в поверхностных водах изучаемой территории. Аналогичные результаты о содержании $\text{C}_{\text{орг}}$ в реках и озерах карбонатных ландшафтов Полярного Урала получены ранее [15, 43]. Это отражается в показателях цветности, бихроматной окисляемости и биологического потребления кислорода. Низкое содержание органического углерода во время весенних арктических паводков свойственно воде р. Черчилль (Канада) – 4–13 мг/дм³ с минимальным содержанием в начале половодья [52]. В целом содержание органического углерода в поверхностных водах колеблется в широком диапазоне от <1 до 10–20 мг/дм³, а в водах болотных экосистем достигает нескольких сотен мг/дм³ [31, 42, 46].

К другим причинам отсутствия органических соединений в поверхностных водах может быть отнесено их преимущественное перераспределение и закрепление в почвенном профиле и/или осаждение органических соединений на дне водоемов. Для оценки вклада последних двух факторов необходимы дополнительные исследования.

Вода руч. Развильный (как в верхнем, так и в нижнем течении) характеризуется как нейтральная, р. Большая Пайпудына – слабощелочная, карстового озера – щелочная. Кислотность вод при отсутствии органических соединений определяют гидрокарбонаты и карбонаты, ионы щелочных и щелочноземельных металлов.

Преобладание поверхностного питания рек определяет также низкую минерализацию и жесткость вод всех изучаемых объектов. Воды квалифицируются как ультрапресные (сумма солей ниже 200 мг/дм³) и “очень мягкие” (молярная концен-

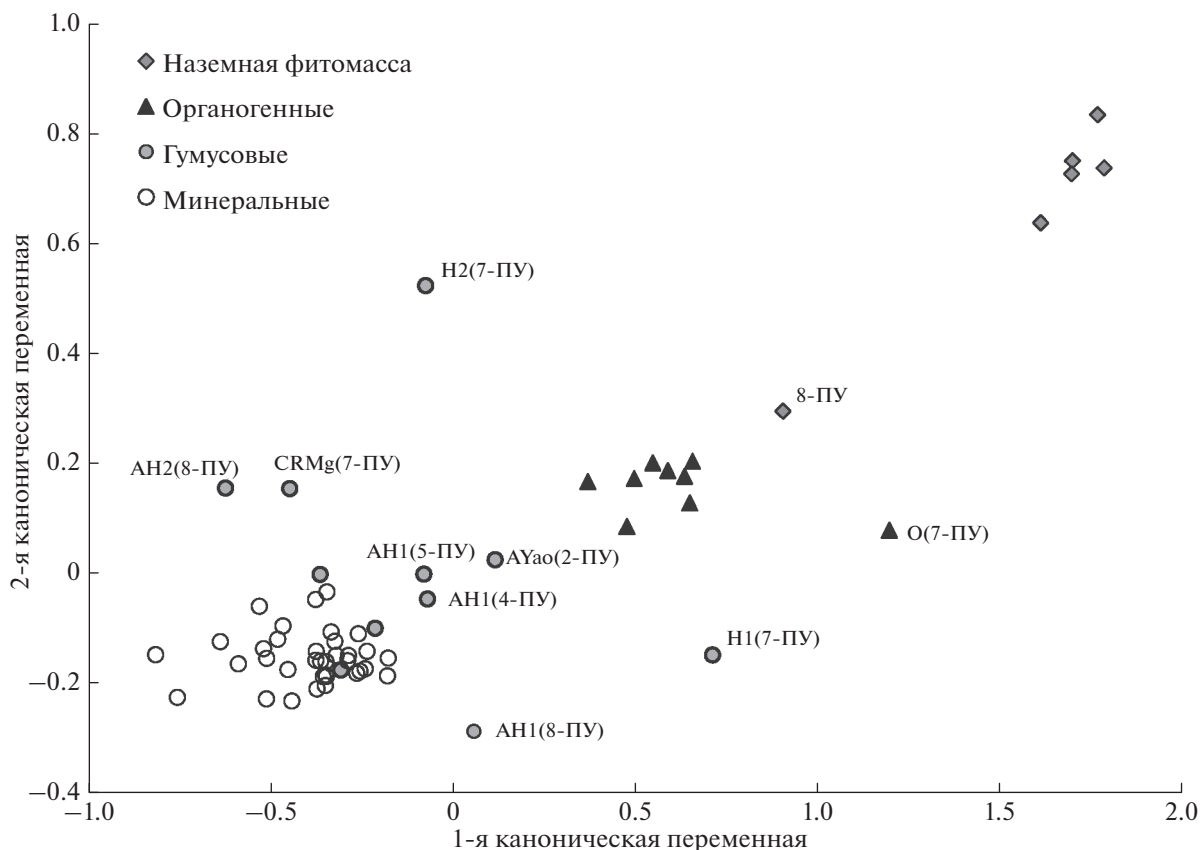


Рис. 3. Ординационная диаграмма (метод главных компонент). Диагностические признаки водных вытяжек из почв и фитомассы: $C_{орг}$, $N_{орг}$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , общая щелочность.

трация эквивалентов Ca^{2+} и $Mg^{2+} < 1$ ммоль/дм³). Химический состав речных и озерных вод преимущественно гидрокарбонатный, по большей части однокомпонентного катионного состава — доминируют ионы Ca^{2+} , менее всего — ионов K^+ по причине, описанной выше. Присутствие в анионной части сульфат-ионов может быть обусловлено спецификой химического состава разгружаемых в гидрографическую сеть подземных вод водоносных горизонтов каменноугольных и девонских отложений (C_{1-2} – D_{2-3}), отличающихся и сульфатным составом [5]. Минимальная массовая концентрация катионов и анионов свойственна воде верховий руч. Развильный, где на фоне преобладания ионов кальция существенна доля ионов натрия (~70 и 20% от общего их содержания). Очевидно, что повышенное содержание ионов в трех других объектах и изменение относительного состава катионов связано с обогащением воды (до 4 раз) растворимыми компонентами вследствие процессов вымывания из горных пород и почв на пути следования. Состав вод нижнего течения руч. Развильный, Карстового озера и р. Большая Пайпудына описывается од-

ним относительным массовым рядом доминирующих ионов и близок к таковому для водных вытяжек минеральных горизонтов почв. Таким образом, формирование состава поверхностных вод происходит за счет выноса веществ со стоком с прилегающих к данному водоему территорий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для исследуемого региона Полярного Урала впервые получен новый и оригинальный материал о компонентном составе водных вытяжек из почв и растительного материала, а также и водотоков. В пределах каждого участка выявлено существенное изменение состава и содержания водорастворимых компонентов в системе наземная фитомасса–водорастворимая фракция почв–поверхностные воды.

Исследованные участки значительно различаются по составу и структуре растительных сообществ: степени сомкнутости растительного покрова (0–100%), запасам (20–1650 г/м²) и составу наземной фитомассы. Общим признаком растительного материала изучаемой территории является преобладание в водных вытяжках ионов ка-

лия (45–60%) и кальция (30–45%); массовая доля магния и натрия незначительны (5–8 и 0–2%). Содержание водорастворимых форм органического углерода, азота и суммы катионов легкорастворимых солей наземной фитомассы различается более чем на порядок и соответствует диапазонам 8–106, 0.4–5.8 и 1.5–32 г/кг. Низкие значения всех показателей характерны фитомассе кустарничково-дриадово-мохового сообщества, высокие – высокотравного луга.

В водных вытяжках поверхностных горизонтов почв содержание всех компонентов на 1–1.5 порядка меньше по сравнению с фитомассой. В относительном составе водорастворимых катионов повышается роль Ca^{2+} за счет K^{+} (50–70 и 12–34% соответственно). В пределах нижележащей части почвенных профилей, а также в почвах пятен состав водных вытяжек достаточно однообразен. Близость карбонатной породы вне зависимости от генезиса почв определяет высокие значения рН и доминирование ионов кальция и гидрокарбонат-ионов (80–95%) в составе водных вытяжек. Факторизация признаков методом главных компонент подтвердила наибольшие различия состава водных вытяжек в группе гумусово-аккумулятивных горизонтов.

Преобладание поверхностного питания рек (снеговое, дождевое, ледниковое) определяет низкую минерализацию и низкую жесткость вод всех изучаемых объектов, а также отсутствие в них органических соединений. Относительный состав ионов поверхностных вод и вытяжек из минеральных горизонтов аналогичны.

Полученные данные могут быть использованы при прогнозе поведения элементов в почве и в ландшафте, балансовых расчетах циклов углерода и азота, а также соединений щелочных и щелочноземельных металлов в ландшафтах кальциевого класса по Перельману [32].

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают искреннюю благодарность Юрию Васильевичу Жданову за содействие в проведении полевых исследований (г. Лабытнанги), а также Якову Ильичу Беляеву (г. Сыктывкар) за помощь в сборе полевого материала.

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 госрегистрации АААА-А17-117122290011-5) и проекта РФФИ № 20-04-00445а “Факторы и механизмы стабилизации органического вещества в почвах экс-

тремальных условий (на примере арктических экосистем)”.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агатова А.И., Лапина Н.М., Торгунова Н.И. Органическое вещество, его элементарный и биохимический состав в водах российской части Арктического бассейна в современных условиях // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 3. С. 450–460.
2. Алимкулов С.О., Мурадова Д.К. Биологическая роль фосфора в жизни растений // *Молодой ученый*. 2015. № 10(90). С. 44–47.
3. Антропогенная динамика растительного покрова Арктики и Субарктики принципы и методы изучения // *Тр. ботанического института им. В.Л. Комарова РАН*. 1995. Вып. 15. 185 с.
4. Атлас почв Республики Коми / Под ред. Г.В. Добровольского и др. Сыктывкар, 2010. 356 с.
5. Атлас Республики Коми. М.: Феория, 2011. 448 с.
6. Белянина Л.А. Состав почвенных растворов, почвенно-грунтовых и поверхностных вод территории Центрально-лесного государственного природного биосферного заповедника. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2007. 25 с.
7. Берштейн Б.И., Оканенко А.С. Калий, фотосинтез и метаболизм растений // *Физиол. и биохимия культ. раст.* 1979. Т. 11. № 6. С. 515–526.
8. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Кутровский М.А. Почвообразование на известняках и мергелях. Ростов-на-Дону, 2007. 198 с.
9. Ветошкина Н.Н. Минимальный сток рек западного склона Полярного, Приполярного и Северного Урала // *Тр. Коми фил. АН СССР*. 1973. № 26. С. 93–112.
10. Воробьева Л.А. О кислотных и основных компонентах почвенных растворов и вытяжек из почв // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение*. 1982. № 3. С. 31–35.
11. Воробьева Л.А. Щелочность почв: показатели, структура, природа // *Почвоведение*. 1993. № 5. С. 21–28.
12. Воробьева Л.А., Герасименко Н.А., Хитров Н.Б. Влияние переувлажнения на природу щелочности неорошаемых природных черноземов и лугово-черноземных почв Ростовской области // *Почвоведение*. 2002. № 4. С. 431–442.
13. Воробьева Л.А., Панкова Е.И. Щелочные засоленные почвы России // *Почвоведение*. 2008. № 5. С. 517–532.
14. Гагарина Э.И. Опыт изучения выветривания обломков карбонатных пород в почве // *Почвоведение*. 1968. № 9. С. 117–126.
15. Голдина Л.П. Озера Полярного урала // *Изв. Коми фил. Геогр. Общ-ва СССР*. 1973. Т. 2. № 5. С. 64–73.

16. *Горячкин С.В.* Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, география). М.: ГЕОС, 2010. 414 с.
17. *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.
18. *Грунина Л.К., Гецен М.В.* Биогенная аккумуляция азота растениями тундровой зоны // Научн. докл. Коми филиал АН СССР. 1984. Вып. 97. 32 с.
19. *Жангуров Е.В.* Автоморфные почвы Среднего и Южного Тимана. Автореф. ... дис. канд. с-х. н. М., 2013. 22 с.
20. *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>
21. Карта четвертичных образований. Лист Q 42-43. М-6 1 : 1000000. Госгеолкарта. ВСЕГЕИ, 1995.
22. *Климанов А.В., Воробьева Л.А., Новикова А.Ф., Конюшкова М.В.* Природа щелочности целинных и антропогенно-преобразованных солонцов северной Калмыкии // Почвоведение. 2014. № 4. С. 433–442. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14040030>
23. *Конюшков Д.Е.* Почвообразование на карбонатных породах в континентальной субарктике (на примере севера Средней Сибири). Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1991. 28 с.
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. *Копосов Г.Ф.* О генезисе дерново-карбонатных почв // Почвоведение. 1981. № 4. С. 5–15.
26. *Ларин И.В., Агабабян Ш.М., Работиса Т.А. и др.* Кормовые растения сенокосов и пастбищ СССР. М.—Л.: Гос. изд-во с./х. лит-ры, 1950. 689 с.
27. *Логонова Е.В., Лопух П.С.* Гидроэкология. Минск: БГУ, 2011. 300 с.
28. *Любимова И.Н., Горобец А.В., Грачев В.А., Никитина Н.С.* Природа щелочности целинных и агрогенно-измененных почв солонцового комплекса Волгоградской области // Почвоведение. 2004. № 11. С. 1325–1334.
29. 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 МГУ им. М.В. Ломоносова, 2017.
30. Национальный Атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель, 2011. 632 с.
31. *Никаноров А.М.* Гидрохимия. СПб.: Гидрометеоздат, 2001. 444 с.
32. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 610 с.
33. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
34. Почвенная карта РСФСР. М-6 1 : 2.5 млн / Под ред. В.М. Фридланда. М.: ГУГК, 1988.
35. Почвы и почвенный покров Печоро-Ильчского заповедника (Северный Урал) / Под ред. С.В. Дегтевой, Е.М. Лаптевой. Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 2013. 328 с.
36. *Рогожникова Е.В., Зборищук Ю.Н.* Карбонаты в некоторых почвах каменной степи // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2009. № 3. С. 17–19.
37. *Родин Л.Е., Базилович Н.И.* Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности Земного шара. М.: Наука, 1965. 264 с.
38. *Соколова Т.А., Дронова Т.Я., Толпешта И.И.* Глинистые минералы в почвах. Тула: Гриф и К., 2005. 336 с.
39. *Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И.* Экологическая информативность субстантивно-генетической классификации почв России // Почвоведение. 2005. № 9. С. 1062–1068.
40. *Хантимер И.С.* Сельскохозяйственное освоение тундры. Л.: Наука, 1974. 226 с.
41. *Хантулев А.А., Гагарина Э.И., Матинян Н.Н., Счастливая Л.С.* Вопросы генезиса почв Северо-запада РСФСР (Ленинградская, Псковская, Новгородская области) // Вестник Ленингр. ун-та. 1972. № 9. С. 121–127.
42. *Хараев Г.И., Ямпилов С.С., Танганов Б.Б., Хантургаев А.Г.* Экологический мониторинг. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2004. 77 с.
43. *Хохлова Л.Г.* Гидрохимия рек тундровой зоны // Освоение Севера и проблемы рекультивации: тезисы докл. межд. конф. Сыктывкар. 1991. С. 196–197.
44. *Чевычелов А.П., Коноровский А.К., Зигер Х.* О генетической сущности остаточно-карбонатных почв Якутии // Почвоведение. 1990. № 3. С. 5–16.
45. *Чудинова Л.А., Орлова Н.В.* Физиология устойчивости растений. Пермь: Пермский ун-т, 2006. 123 с.
46. *Шамрикова Е.В., Ванчикова Е.В., Сытарь Т.С., Зуева О.М.* Сравнительное исследование методик определения содержания углерода органических соединений в природных водах и водных вытяжках из почв // Вода: химия и экология. 2012. № 4. С. 88–92.
47. *Шамрикова Е.В., Груздев И.В., Пунегов В.В., Хабидуллина Ф.М., Кубик О.С.* Водорастворимые низкомолекулярные органические кислоты в автоморфных суглинистых почвах тундры и тайги // Почвоведение. 2013. № 6. С. 691–697. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13060099>
48. *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.
49. *Шамрикова Е.В., Жангуров Е.В., Кулюгина Е.Е., Королев М.А., Кубик О.С., Туманова Е.А.* Почвы и почвенный покров горно-тундровых ландшафтов Полярного Урала на карбонатных породах: разнообразие, классификация, распределение углерода и

- азота // Почвоведение. 2020. № 9. С. 1053–1070.
<https://doi.org/10.31857/S0032180X20090154>
50. Шамрикова Е.В., Соколова Т.А., Забоева И.В. Кислотно-основная буферность органогенных горизонтов подзолистых и болотно-подзолистых почв Республики Коми // Почвоведение. 2003. № 7. С. 797–807.
51. Dittmar T., Kattner G. The biogeochemistry of the river and shelf ecosystem of the Arctic Ocean: a review // Mar. Chem. 2003. V. 83. P. 101–190.
52. Mangal V., Shi Y.X., Gueguen C. Compositional changes and molecular transformations of dissolved organic matter during the arctic spring floods in the lower Churchill watershed (Northern Manitoba, Canada) // Biogeochemistry. 2017. V. 136. P. 151–165.
<https://doi.org/10.1007/s10533-017-0388-8>
53. Oberman N.G., Mazhitova G.G. Permafrost dynamics in the North-East of European Russia at the end of the 20th century // Norsk Geografisk Tidsskrift – Norwegian J. Geography. 2001. V. 55. № 4. P. 241–244.
54. Sjögersten S., Turner B.L., Mahieu N., Condron L.M., Wookey P.A. Soil organic matter biochemistry and potential susceptibility to climatic across the forest-tundra ecotone in the Fennoscandian mountains // Glob. Chang. Biol. 2003. V. 9. P. 759–772.
55. Sposito G., Holsceaw K.M. Titration studies on the Polynuclear Polyacidic Nature of Fulvic Acid Extracted from Sewage Sludge-soil Mixtures // Soil Sci. Soc. Am. J. 1977. V. 41. № 2. P. 330–336.
56. Van Hees P.A.W., Lundstrom U.S. Equilibrium models of aluminium and iron complexation with different organic acids in soil solution // Geoderma. 2000. V. 94. № 2–4. P. 201–221.

Composition of Water Extracts from Vegetation, Soils on Carbonate Rocks, and Surface Water in the Northern Part of the Polar Urals

E. V. Shamrikova^{1, *}, E. V. Zhangurov¹, O. S. Kubik¹, and M. A. Korolev¹

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

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

A comparative analysis of the chemical composition and properties of water-soluble compounds of soils on carbonate rocks, terrestrial phytomass, and waters has been performed for the northern part of the Bolshoi Paipudynsky Ridge, the Polar Urals. In water extracts from plant material, potassium and calcium ions (45–60 and 30–45%, respectively) predominate. Upon the transition from the O horizon to the mineral horizons, the content of Ca²⁺ ions in water extracts increases from 50–70 to 80–90% with a simultaneous decrease in the content of K⁺ ions from 12–34% (O horizon) to 0% (mineral horizons). The uniformity of the composition of surface waters with the composition of water extracts from the middle-profile and lower soil horizons reflects the features inherited from the soils of the catchment area. The highest variability of the chemical composition of water extracts is seen in the group of humus horizons: gray-humus (AY), mucky–dark-humus (AH), and mucky (H) horizons. The composition of water extracts from the phytomass is characterized by the following ranges: C_{org} 8–106 g/kg, N_{org} 0.4–5.8 mg/kg, and soluble salts 1.5–32 g/kg. The contents of all these components in water extracts from the O horizon decreases by 1–1.5 orders of magnitude and further decreases by 1–2 orders of magnitude in the mineral horizons. Surface waters are ultrafresh. In the absence of organic compounds, their acid–base properties are mainly controlled by carbonates and bicarbonates of alkali and alkaline earth metals.

Keywords: carbon and nitrogen compounds, soil alkalinity, cation–anion composition, carbonates