

УДК 631.417.7

## АМФИФИЛЬНЫЕ СВОЙСТВА И ВОДОРАСТВОРИМЫЕ КОМПОНЕНТЫ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

© 2021 г. В. В. Старцев<sup>а</sup>, \*, А. А. Дымов<sup>а</sup><sup>а</sup>Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ул. Коммунистическая, 28, Сыктывкар, 167982 Россия  
\*e-mail: vik.startsev@gmail.com

Поступила в редакцию 10.03.2021 г.

После доработки 02.07.2021 г.

Принята к публикации 05.07.2021 г.

Охарактеризованы гидрофильно-гидрофобные свойства щелочерастворимого органического вещества, содержание и распределение водорастворимого органического вещества почв Приполярного Урала. Выявлено, что преобладающий тип растительности высотного пояса определяет поступление и характер почвенного органического вещества. Мохово-лишайниковый напочвенный покров горно-тундрового пояса способствует поступлению растительного опада, обогащенного гидрофобными соединениями (до 24.0%). В травяных сообществах подгольцового пояса преобладают гидрофильные фракции почвенного органического вещества (первая фракция 42.4–77.0%; вторая 0.3–12.6%). Древесная растительность горно-лесного пояса способствует увеличению содержания гидрофобных лигнинсодержащих фракций (16.4–34.8%). Для горно-тундровых почв с многолетнемерзлыми породами характерно увеличение степени гидроморфизма, в результате в минеральных горизонтах происходит накопление (до 75.4%) соединений, связанных с Fe и Al. Расчет запасов углерода водорастворимого органического вещества показал, что они привносят в общие запасы углерода от 0.3 до 9%.

**Ключевые слова:** хроматография гидрофобного взаимодействия, фракционирование, многолетнемерзлые породы, water soluble organic matter, Podzol, Umbrisol, Cryosol

DOI: 10.31857/S0032180X21120121

### ВВЕДЕНИЕ

Важнейшую роль в биогеохимических циклах выполняет почвенное органическое вещество (ПОВ), представляя собой многокомпонентную систему соединений, различающуюся гидрофильно-гидрофобными свойствами. В окружающей среде амфифильные свойства ПОВ почв характеризуют его средство к воде, миграционные возможности, формируя определенный тип гумусового профиля для конкретных экологических условий [7, 15, 26]. Кроме этого, щелочерастворимые органические вещества составляют подвижную часть ПОВ, не имеют прочных контактов с минеральными частицами почвы и в первую очередь вовлекаются в процессы гумификации и минерализации, обновляя пул ПОВ, реагируют на динамику изменений внешних факторов [2, 25, 27]. Среди современных методов фракционирования широко используется хроматография гидрофобного взаимодействия, которая позволяет выделить компоненты ПОВ, обладающие молекулярной однородностью по средству к реакции гидрофобного связывания. Гидрофильные компоненты представлены автохтонными и аллохтонно-иллювиальными (латеральными) формами (пре-

имущественно низкомолекулярные соединения и фульвокислоты). Гидрофобные компоненты ПОВ – автохтонные образования, пространственно приуроченные к продуктам гумификации органического материала *in situ* [15]. В литературе показано, что наиболее гидрофобными свойствами обладают ароматические структуры [18], влияющие на биологическую активность почв [43], алифатические компоненты характеризуются более гидрофильными свойствами [6–9].

Важной составляющей ПОВ являются процессы образования водорастворимой фракции – водорастворимое органическое вещество (ВОВ) [41]. ВОВ составляет лишь небольшую часть ПОВ, но оказывает сильное влияние на ряд экологически значимых процессов в почве. Содержание и характер распределения лабильных форм С и N влияют на формирование химического состава почв [26, 39]. Кроме этого ВОВ участвует в циклах переноса различных питательных элементов [35, 45], а углерод ВОВ – промежуточный продукт разложения и образования CO<sub>2</sub> [22, 24, 42, 47].

Цель работы – изучить амфифильные свойства щелочерастворимого ОВ и содержание водо-

**Таблица 1.** Краткая характеристика исследованных почв Приполярного Урала

Участок	Тип почвы*	Строение почвы
Горно-тундровый пояс		
ГТ1	Подбур глееватый иллювиально-гумусовый/Skeletal Stagnic	O(L)–O(F)–BH–BG
ГТ2	Entic Podzol (Turbic)	O(L)–O(H)–BH–BCg–Cg
ГТ3		O–BH–BCg–Cg
ГТ4	Подбур иллювиально-гумусовый/Skeletal Stagnic Entic Podzol (Turbic)	O(L)–O(F)–O(H)–BH1–BH2–BC
Подгольцовый пояс		
ПГ1	Серогумусовая криометаморфическая стратифицированная/Skeletal Haplic Umbrisol	O(L)–O(F + H)–AYr–CRM–C
ПГ2	Серогумусовая метаморфизованная/Skeletal Haplic Umbrisol	O–AY–AYBm–BC–C
ПГ3	Серогумусовая криометаморфическая/Skeletal Stagnic Umbrisol	O–AY–CRM–BC
ПГ4	Серогумусовая метаморфизованная/Skeletal Haplic Umbrisol	O–AY–AYBm–BC–C
Горно-лесной пояс		
ГЛ1	Торфяно-подзол иллювиально-железистый потечно-гумусовый/Skeletal Histic Podzol (Humic)	O(L)–O(F)–O(H)–Ehi–BF1–BF2–BC
ГЛ2	Подзол иллювиально-железистый глееватый/Skeletal Albic Podzol	O–E–BF–BCg
ГЛ3	Подзол иллювиально-железистый потечно-гумусовый глееватый/Skeletal Albic Podzol (Humic)	O(L)–O(H)–Ehi–BF–BCg–C
ГЛ4	Подзол иллювиально-гумусово-железистый/Skeletal Albic Podzol	O–E–BHF–BC
Горно-тундровый пояс с ММП		
ГТМ1	Торфяно-криозем глееватый/Histic Cryosol (Dystric, Reductaquic)	Очес–Т1–Т2–CRg–CR <sup>±</sup>
ГТМ2	Торфяно-глеезем потечно-гумусовый мерзлотный/Histic Cryosol (Reductaquic, Humic)	Очес–Т–Ghi–BG <sup>±</sup>
ГТМ3	Подбур иллювиально-гумусовый глееватый мерзлотный/Skeletal Follic Cryosol (Humic)	O(L)–O(F+H)–BH–BFg <sup>±</sup>
ГТМ4	Глеезем криогенно-ожежененный мерзлотный/Histic Cryosol (Reductaquic)	O(L)–O(F+H)–Gcf–BCg–Cg <sup>±</sup>

\* Название почв согласно Полевому определителю почв России [20]/название почв в системе классификации WRB [38].

растворимого органического вещества почв Приполярного Урала.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования были почвы, формирующиеся в северной части национального парка “Югыд ва” (Приполярный Урал). В соответствии с почвенно-географическим районированием Приполярный Урал относится к округу горно-тундровых и горно-лесных глееподзолистых потечно-гумусовых почв [5]. Для исследуемой территории характерна четко выраженная вертикальная поясность [3, 31]. Выделяют горно-лесной, подгольцовый и горно-тундровый пояса. Для каждого высотного растительного пояса под-

бирали ряд преобладающих почв, формирующихся в однотипных экологических условиях. Исследовали 4 почвы горно-тундрового пояса с близким залеганием (до 1 м) многолетнемерзлых пород (ММП). Всего было заложено 16 почвенных разрезов, по 4 для каждого пояса. Характеристика исследованных почв приведена в табл. 1 и ранее опубликованных работах [21, 49].

Для изучения амфифильных компонентов гумусовых веществ ПОВ использовали жидкостную хроматографию гидрофобного взаимодействия. Анализировали органогенные и два верхних минеральных горизонта в однократной повторности (всего 60 образцов). Хроматографическое фракционирование проводили на колонке 1 × 10 см с гидрофобизированным гелем агарозы (Octyl Sep-

harose CL-4B, Pharmacia) на хроматографе Bio-Logic LP (BioRad, USA). Оптическую плотность элюата измеряли при 280 нм. Анализировали щелочные экстракты (0.1 М NaOH) в соотношении почва : раствор (1 : 10). От минеральных примесей экстракт и растворенные препараты очищали центрифугированием (10000 об./мин, в течение 20 мин). Гидрофильные компоненты первой фракции не взаимодействуют с хроматографической матрицей и элюируются первыми при взаимодействии со стартовым буфером (А) – 0.05 моль/л Трис-НСl + 2 моль/л  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , рН 8.0. Элюирование гумусовых веществ, сорбированных на матрице геля, осуществляли путем постепенного ослабления их гидрофобных контактов с матрицей геля: сначала 0.05 моль/л Трис-НСl (буфер В, рН 8.0) при негативном градиенте буфера А (вторая фракция), третью фракцию отделяли 100%-ным буфером В. При возрастающей концентрации додецилсульфата натрия (0.05 моль/л Трис-НСl + 0.25% SDS, буфер С, рН 8.0) элюировали четвертую фракцию. Последнюю фракцию десорбировали раствором 5 ммоль/дм<sup>3</sup> ЭТДА + 0.2 М NaOH (буфер D). Особенности используемого метода подробно описаны ранее [15]. Относительное содержание фракций гумусовых веществ определяли по площади каждой хроматографической фракции, выраженной в процентах от общей площади хроматографических пиков, с помощью программы обработки данных МультиХром (Амперсенд, Россия). Гумусовые вещества, входящие в первые две фракции, отнесены к гидрофильным, а вещества в составе третьей, четвертой и пятой хроматографических фракций – к гидрофобным. Степень гидрофильности определяли как отношение суммы площадей гидрофильных к сумме площадей гидрофобных компонентов гумусовых веществ. Согласно [15], структурными фрагментами, обуславливающими гидрофильные свойства (углеводы, простые сахара) являются О- и N-содержащие функциональные группы, заряженные фрагменты молекул, COOH– и др., аминокислоты: лизин, аргинин, серин, тирозин и др. Гидрофобными свойствами (жиры, воска) характеризуются незаряженные и неполяризованные атомы и группы атомов (гетероциклические и бензоидные структуры), углеводородные цепи, аминокислоты с неполярными углеводородными боковыми радикалами, группы OH. По амфифильным (гидрофобно/гидрофильным) свойствам определяют присутствие полярных и заряженных аминокислотных остатков (Arg, Asp, Glu, Lys, Ser, Thr).

Экстракцию BOB проводили деионизированной водой (Elga Lab Water, Англия) при комнатной температуре при соотношении почва : вода 1 : 50 для минеральных горизонтов и 1 : 100 для органогенных в пробирках Biofil. Анализ проводили для каждого выделенного генетического горизонта в однократной повторности (77 образцов).

Суспензии встряхивали в течение 1 ч на шейкере Heidolph Multi Reax (ускорении 6X, 4600 об./мин) при комнатной температуре. Фильтрацию вели непосредственно после встряхивания на установках Millipore с использованием кварцевых фильтров (MN, Германия, с размером пор 0.4 мкм). Содержание водорастворимого органического углерода ( $C_{\text{BOB}}$ ) и азота ( $N_{\text{BOB}}$ ) определяли на анализаторе TOC-VCPN (Япония, Shimadzu) с модулем TNM-1. Полученные результаты пересчитывали на воздушно-сухую навеску анализируемой пробы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Щелочерастворимое органическое вещество и хроматографическое фракционирование.** Анализ углерода 0.1 М щелочерастворимой фракции ( $C_{\text{NaOH}}$ ) показал, что характер его распределения в профиле почв повторяет распределение содержания общего углерода ( $C_{\text{общ}}$ ), при этом относительное содержание  $C_{\text{NaOH}}$  от  $C_{\text{общ}}$  варьирует от 1.2 до 30.3% (рис. 1). Максимальными концентрациями  $C_{\text{NaOH}}$  характеризуются органогенные горизонты, в минеральных горизонтах концентрации значительно снижаются. Почвы горно-тундрового пояса, формирующиеся в верхней части склонов, аккумулируют высокие концентрации органического вещества и характеризуются максимальными концентрациями щелочерастворимого углерода как в органогенных (0.54–2.41%), так и в минеральных (0.11–2.64%) горизонтах. В почвах подгольцового пояса сосредоточены небольшие концентрации щелочерастворимого углерода. В органогенных горизонтах содержание варьировало от 0.95 до 1.63%, в минеральных – от 0.14 до 1.35%. Распределение носит равномерно-аккумулятивный характер. Среди минеральных горизонтов максимальными концентрациями характеризуются серогумусовые горизонты АУ. В органогенных горизонтах почв горно-лесного пояса содержится от 0.53 до 2.00% углерода щелочерастворимой вытяжки. В минеральных горизонтах максимальные концентрации выявлены для потечногумусовых подзолистых Ehi (до 0.85%) и иллювиально-железистых BF (до 0.82%) горизонтов. Для почв горно-тундрового пояса с ММП распределение  $C_{\text{NaOH}}$  по профилю почв носит аккумулятивно-элювиально-иллювиальный характер. В данных почвах происходит надмерзлотная аккумуляция щелочерастворимого углерода в нижних органогенных (до 2.09%) и срединных минеральных горизонтах (до 2.14%). В нижних минеральных горизонтах отмечается значительное уменьшение концентраций  $C_{\text{NaOH}}$ .

Согласно [15], первые две хроматографические фракции представлены наиболее гидрофильными миграционноспособными соединениями, кото-

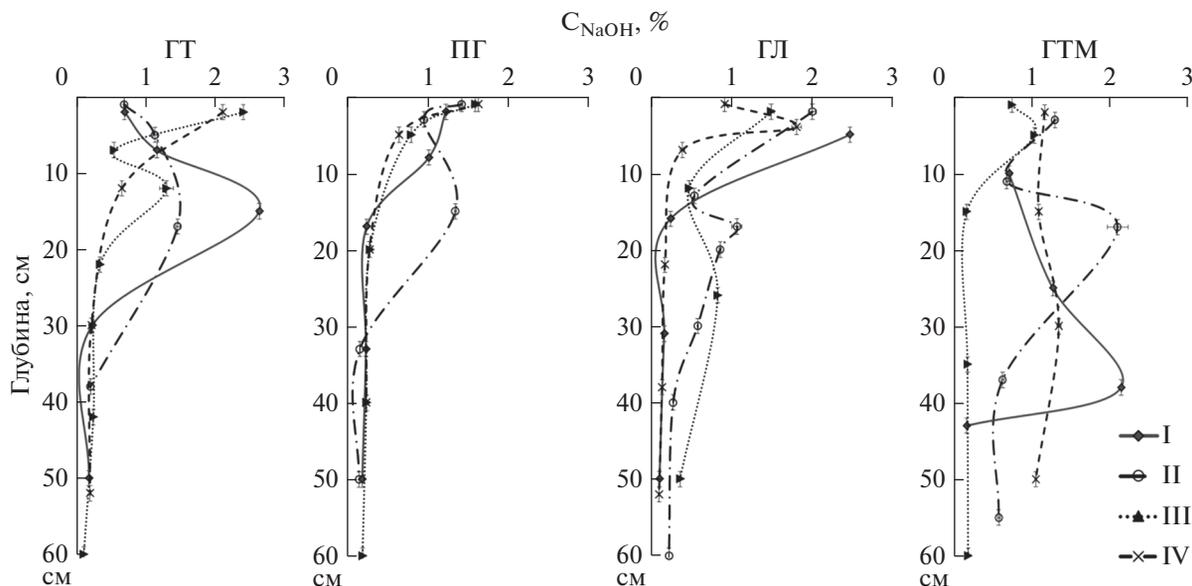


Рис. 1. Распределение щелочерастворимого углерода ( $C_{NaOH}$ , %). GT — почвы горно-тундрового пояса, ПГ — почвы подгольцового пояса, ГЛ — почвы горно-лесного пояса, GTM — почвы горно-тундрового пояса с ММП. I–IV — номер фракции.

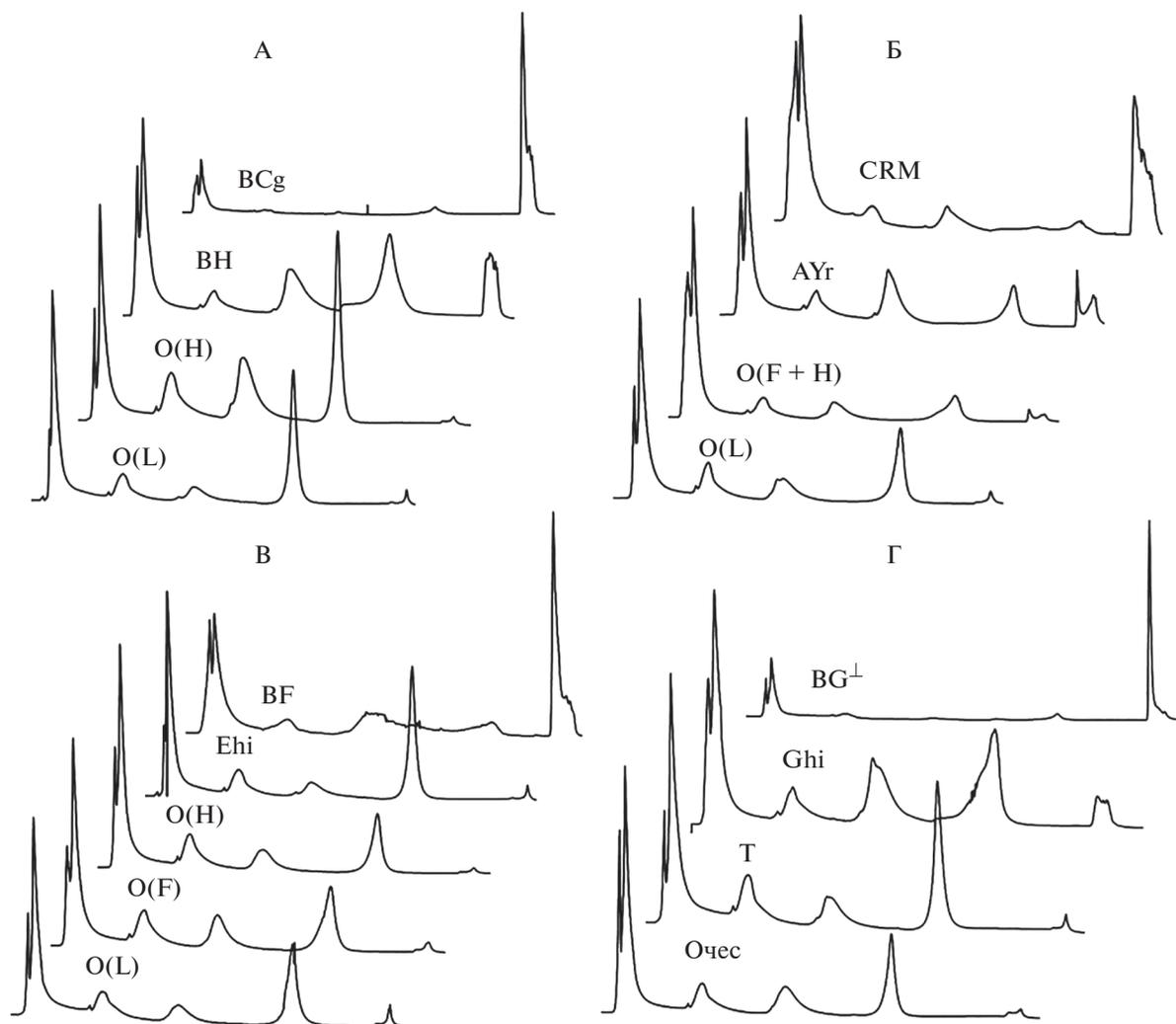
рые хорошо растворяются в водных растворах и включают основной запас легкодоступных питательных веществ, это слабообуглероженные, насыщенные азотом низкомолекулярные алифатические соединения. Третья и четвертая фракции связаны с компонентами гумусовых веществ, образующимися в результате разложения растительных остатков *in situ* (целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин и пр.) — обуглероженные высокомолекулярные восстановленные органические соединения ароматической природы. Пятая фракция представлена комплексными Al-Fe-гумусовыми соединениями.

Проведенные методом хроматографии гидрофобного взаимодействия исследования показали, что почвы, формирующиеся в разных высотных поясах Приполярного Урала, различаются по содержанию и распределению щелочерастворимого органического вещества (рис. 2). Анализ относительного содержания амфифильных фракций ПОВ позволил выявить, что ключевым фактором, характеризующим различия между почвами разных растительных поясов, является состав растений на почвенного покрова и опада, поступающего на поверхность почв. Для всех почв максимальное содержание гидрофильных фракций и степень гидрофильности выявлены в органогенных горизонтах. Именно в них продуцируется максимальное количество способных к миграции в водных растворах органических соединений [1, 6, 8, 9, 50]. В минеральных горизонтах выявлено увеличение содержания гидрофобных фракций.

Профильное распределение гидрофильных фракций в почвах горно-тундрового пояса носит

аккумулятивный характер. В минеральных горизонтах выявлено увеличение содержания гидрофобных фракций (рис. 3). В составе гидрофильных компонентов преобладает первая фракция (до 58%). Высокое содержание первой фракции в подстилках выявлено для подгоризонтов гумификации хорошо разложившихся растительных остатков (O(F), O(H)). Кустарничково-мохово-лишайниковыми растительные ассоциации определяют наземное поступление органических веществ, богатых лигнинсодержащими соединениями. Это согласуется с данными [37], где выявлено увеличение содержания гидрофильных соединений в экстрактах из мхов и кустарничков. В минеральных горизонтах увеличивается содержание четвертой и пятой хроматографических фракций, поскольку при высокой степени увлажнения происходит аккумуляция альфегумусовых соединений и накопление соединений, связанных с Fe и Al. Содержание четвертой фракции варьировало от 5.8 до 24.4%, пятой — 1.7–66.4%. В некоторых случаях наблюдается увеличение содержания третьей фракции, которая характеризуется алифатическими соединениями в составе ПОВ. В минеральных горизонтах содержание этой фракции варьировало от 9.4 до 48.9%.

Почвы, формирующиеся в подгольцовом поясе под разнотравными луговыми сообществами, характеризуются большим содержанием гидрофильных фракций органического вещества в минеральных горизонтах (первая фракция 42.4–77.0%; вторая 0.3–12.6%). В травяных сообществах преобладающая доля фитомассы представлена под-

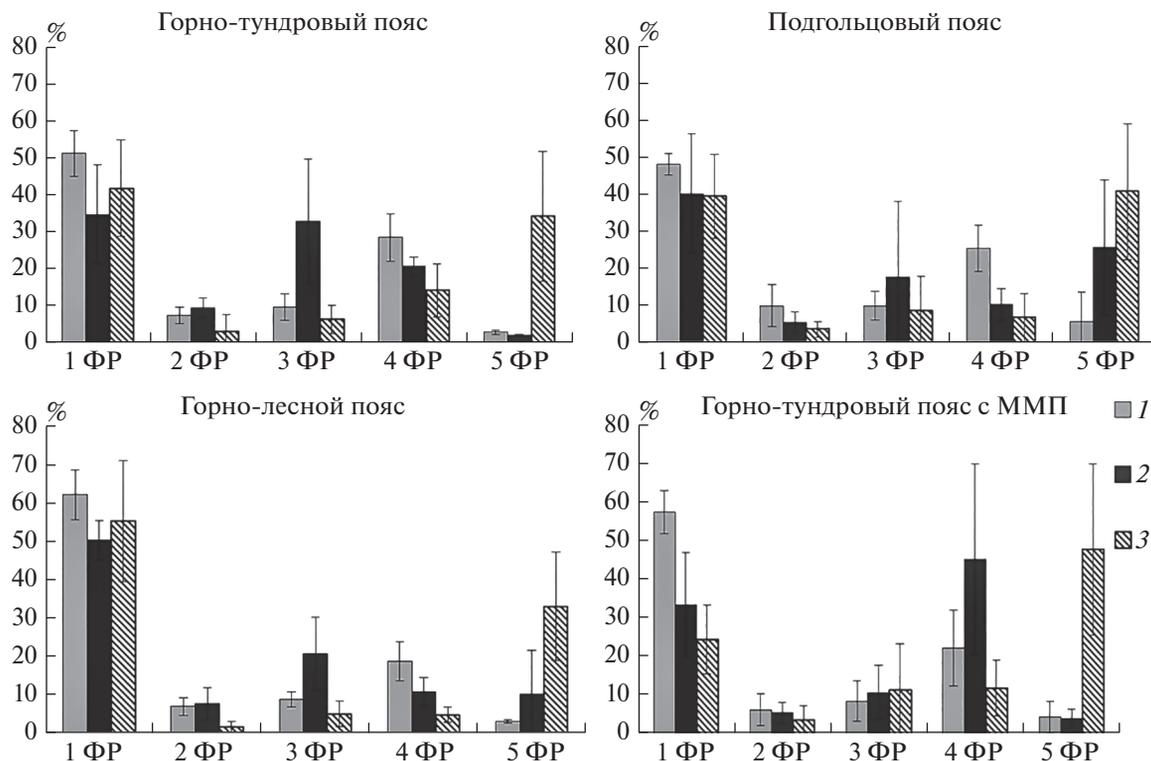


**Рис. 2.** Хроматограммы лабильного органического вещества почв растительных поясов Приполярного Урала. А – подбур глееватый иллювиально-гумусовый (ГТ2), Б – серогумусовая криометаморфическая стратифицированная почва (ПГ1), В – торфяно-подзол иллювиально-железистый потечно-гумусовый (ГЛ1), Г – торфяно-глеезем потечно-гумусовый мерзлотный (ГТМ2).

земными органами растений, поэтому органическое вещество, поступая в почву *in situ*, сохраняется и аккумулируется, в дальнейшем преобразуется почвенной биотой, проходя стадию биотрансформации при недостатке кислорода. Показано, что серогумусовые почвы характеризуются преобладанием в системе ПОВ гидрофильных фракций и уменьшением гидрофобных, что может свидетельствовать об устойчивости гидрофильных компонентов к процессам микробиологической минерализации [30] в условиях низкой биологической активности почв Приполярного Урала.

Исследование амфифильности органического вещества почв горно-лесного пояса показало аккумулятивное распределение содержания гидрофильных фракций по профилю. Это в значитель-

ной степени отражает характер распределения общего органического углерода ( $C_{\text{общ}}$ ) с максимальным содержанием гидрофильных фракций в органогенных горизонтах (первая 44.6–51.3%, вторая 1.2–17.1%). Для верхних минеральных горизонтов почв горно-лесного пояса выявлено высокое содержание первой гидрофильной фракции 29.4–63.9%. Для иллювиально-железистых горизонтов ВФ наблюдается увеличение содержания пятой гидрофобной фракции (до 66.2%), что, согласно [34], может увеличивать устойчивость почвенных агрегатов. В целом в минеральных горизонтах почв горно-лесного пояса преобладают гидрофобные фракции. Вероятно, это связано с выносом низкомолекулярных органических соединений из элювиальных горизонтов и аккумуля-



**Рис. 3.** Относительное содержание хроматографических фракций ПОВ в исследованных почвах Приполярного Урала ( $n = 4$ ): 1 – подстилка, 2 – верхний минеральный горизонт, 3 – нижележащий минеральный горизонт; 1 ФР–5 ФР – номера хроматографических фракций.

ляцией в нижних. Кроме этого, органическое вещество древесных остатков богато лигнином [11], что приводит к увеличению относительного содержания четвертой фракции 19.0–34.8% в подстилках, до 2.3–16.4% в минеральных горизонтах.

Для почв, подстилаемых ММП, профильное распределение выделенных хроматографических фракций носит аккумулятивный характер с постепенным уменьшением содержания гидрофильных фракций в составе ПОВ от подстилок к нижним минеральным горизонтам. Максимальное содержание гидрофильных фракций характерно для органогенных горизонтов (первая фракция 15.0–62.5%). Минеральные горизонты почв характеризуются высоким содержанием гидрофобных фракций. Содержание четвертой лигнинсодержащей фракции варьировало от 5.5 до 80.4%. Максимальная концентрация пятой гидрофобной фракции выявлена для нижних минеральных горизонтов (до 75.4%). Для почв с ММП характерно развитие процессов оглеения, сопровождаемых накоплением соединений железа при застойном водном режиме и господстве низких температур [10, 22]. Так, в анаэробных условиях, наряду с замедленной трансформацией ПОВ, происходит его консервация и, возможно, аккумуляция микро-

биологически устойчивых к дальнейшей трансформации гидрофобных компонентов [16–19].

Показатель гидрофильности для почв рассматриваемых горных высотных поясов существенно различается. Для подзолов степень гидрофильности варьирует в диапазоне 0.5–2.2. В почвах подгольцового пояса в результате внутрипочвенного поступления органического вещества в серогумусовых горизонтах показатели гидрофильности увеличиваются (1.1–1.9). В почвах горно-тундрового пояса, формирующихся в условиях повышенной увлажненности и увеличении степени развития процессов оглеения, выявлено усиление гидрофобности органического вещества в верхних минеральных горизонтах (0.2–0.9). Максимальными показателями характеризуются горизонты ВН с высоким содержанием органического углерода.

Показано, что преобладающие растительные ассоциации разных высотных поясов определяют характер амфифильных свойств почвенного органического вещества. В почвах подгольцового пояса преобладают гидрофильные фракции, в почвах горно-лесного и горно-тундрового поясов выявлено высокое содержание гидрофобных лигнино- и целлюлозоподобных соединений, в почвах горно-тундрового пояса с ММП в составе ПОВ минераль-

ных горизонтов преобладают соединения, связанные с Fe и Al.

**Углерод и азот ВОВ.** Анализ показал, что общий водорастворимый углерод ( $C_{\text{ВОВ}}$ ) на 99–100% состоит из органического углерода. ВОВ формируются из остатков растений, микробной биомассы, корневых выделений и продуктов жизнедеятельности почвенных животных [28, 29, 40, 44].

При анализе  $C_{\text{ВОВ}}$  в почвах выявлено, что максимальное его содержание приходится на подстилки. Это характерно для почв северных и тундровых экосистем, где заметно различается соотношение углерода надземной и подземной биомассы [13]. В большинстве исследованных почв наибольшие концентрации  $C_{\text{ВОВ}}$  характерны для торфяных и горизонтов свежего опада O(L). В подгоризонтах ферментации O(F) и гумификации O(H) его несколько меньше. Минимальное содержание отмечено для подгоризонтов O(H), представленных хорошо разложившимися растительными остатками. В почвах подгольцового пояса данный подгоризонт не выявлен.

В литературе [13] отмечено, что высокие показатели надземной биомассы свойственны экосистемам с преобладанием кустарничков, моховых и лишайниковых растительных ассоциаций, это характерно и для горно-тундровых экосистем Приполярного Урала. Благодаря отсутствию корней у лишайников и мхов происходит накопление наземной биомассы и возрастает количество органического вещества в органогенных горизонтах почв. Установлено, что максимальным содержанием  $C_{\text{ВОВ}}$  в верхних органогенных горизонтах характеризуются почвы горно-тундрового пояса (10.1–10.6 мг/г), минимальным – почвы подгольцового пояса (8.3 мг/г). Для почв горно-лесного пояса выявлены средние значения содержания  $C_{\text{ВОВ}}$  в верхних подгоризонтах подстилки – 9.1 мг/г.

Накопление подземной биомассы (корни, растительные остатки и др.) происходит в значительно меньшей степени. В экосистемах с преобладанием травянистых растений и кустарничков большая часть биомассы приходится на мелкие корни, переплетающиеся в густую сеть в верхних минеральных горизонтах. Наибольшие показатели содержания лабильного углерода выявлены для почв горно-тундрового пояса (0.9 мг/г), формирующихся в кустарничковых тундрах. Для почв подгольцового пояса, развивающихся под разнотравными луговинами, и почв горно-тундрового пояса с ММП отмечены несколько меньшие значения  $C_{\text{ВОВ}}$  в верхних минеральных горизонтах (0.7 мг/г). Древесные растения горно-лесного пояса имеют гораздо более обширную систему крупных корней, а мелкие корни встречаются в верхних минеральных горизонтах значительно реже, чем корни трав и кустарничков. Это отражается в характере накопления органического веще-

ства в верхних минеральных горизонтах. Минимальные значения  $C_{\text{ВОВ}}$  характерны для почв горно-лесного пояса (0.6 мг/г).

Расчет запасов водорастворимого углерода и их вклада в запасы общего углерода ( $C_{\text{орг}}$ ) (рис. 4) показал, что запасы  $C_{\text{ВОВ}}$  в почвах горно-тундрового пояса составляют от 0.16 до 1.08 кг/м<sup>2</sup>. Минимальные запасы  $C_{\text{ВОВ}}$  выявлены в почвах подгольцового пояса, которые варьируют в пределах 0.09–0.27 кг/м<sup>2</sup>. В почвах горно-лесного пояса аккумуляровано 0.13–0.33 кг/м<sup>2</sup> запасов водорастворимого углерода. Запасы лабильного углерода  $C_{\text{ВОВ}}$  в почвах с ММП составляют 0.23–1.61 кг/м<sup>2</sup>. Установлено, что запасы общего водорастворимого углерода приносят в общие запасы углерода от 0.3 до 9%, при этом на органогенные горизонты приходится 0.3–6%, на минеральные – от 1 до 9%.

Содержание и характер распределения лабильных ВОВ оказывают влияние на химический состав почв [39]. Проведенные исследования позволили выявить, что  $C_{\text{ВОВ}}$  в значительной степени отражает распределение общего органического углерода  $C_{\text{общ}}$  (рис. 5). Показано, что распределение  $C_{\text{ВОВ}}$  в исследованных почвах имеет регрессивно-аккумулятивный характер с максимальным содержанием в органогенных горизонтах и резким уменьшением в минеральных. Отмечено значительное сокращение содержания углерода ВОВ в минеральных горизонтах по сравнению с подстилками.

В органогенных горизонтах подбуров горно-тундрового пояса содержание  $C_{\text{ВОВ}}$  варьировало от 6.5 до 15.4 мг/г. Максимальное количество  $C_{\text{ВОВ}}$  (2.2 мг/г) характерно для горизонта ВН для почвы участка ГТ2, минимальное (0.1 мг/г) – для горизонтов почвообразующей породы. Для почв подгольцового пояса характерна небольшая мощность органогенного горизонта, однако в них выявлено 4.6–17.3 мг/г ВОВ, в минеральных горизонтах 0.1–1.4 мг/г. Большая концентрация  $C_{\text{ВОВ}}$  характерна для верхних серогумусовых горизонтов (до 1.4 мг/г), содержащих больше общего углерода. Подзолы горно-лесного пояса также характеризуются накоплением  $C_{\text{ВОВ}}$  в подстилках (8.7–10.7 мг/г). В минеральных горизонтах содержание  $C_{\text{ВОВ}}$  значительно меньше и варьирует в пределах 0.1–1.0 мг/г. Характерной чертой подзолов является аккумуляция общего углерода ВОВ в элювиальных (Eh1) горизонтах (0.4–1 мг/г) по сравнению с иллювиальными (до 0.2 мг/г). Содержание  $C_{\text{ВОВ}}$  в органогенных горизонтах почв горно-тундрового пояса с ММП варьировало от 7.7 до 13.3 мг/г. В минеральных – от 0.08 до 1.6 мг/г. Наименьшее содержание ВОВ выявлено в глеевых и минеральных горизонтах с признаками оглеения (табл. 2).

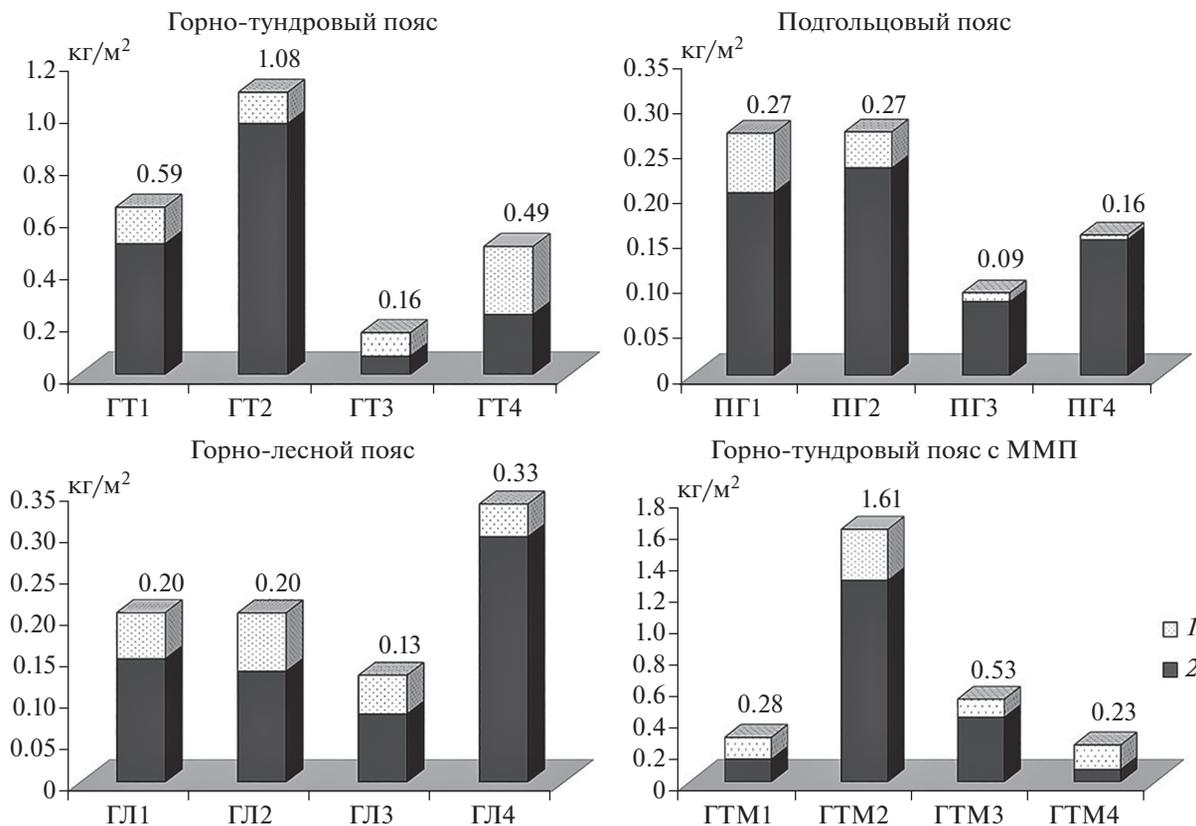


Рис. 4. Запасы углерода ВОВ в почвах Приполярного Урала: 1 – органогенные горизонты, 2 – минеральные горизонты.

Содержание водорастворимого азота значительно меньше, чем углерода, но характеризуется теми же закономерностями. В органогенных горизонтах почв горно-тундрового пояса выявлено большое содержание  $N_{\text{ВОВ}}$  (0.24–1.37 мг/г). В минеральных горизонтах – меньшее (от 0.002 до 0.1 мг/г). В органогенных горизонтах почв подгольцового пояса содержание  $N_{\text{ВОВ}}$  достигало 0.94 мг/г, в минеральных – 0.08 мг/г. Максимальное содержание  $N_{\text{ВОВ}}$  для подзолов горно-лесного пояса выявлено для органогенных горизонтов (до 0.62 мг/г), в минеральных – до 0.04 мг/г. Содержание  $N_{\text{ВОВ}}$  в почвах горно-тундрового пояса с ММП варьирует от 0.17 до 0.6 в органогенных горизонтах и от 0.005 до 0.07 мг/г – в минеральных горизонтах, что несколько меньше, чем для почв горно-тундрового пояса.

Рядом исследователей [28, 29, 36, 48] показана важная роль изучения отношения углерода к азоту водных вытяжек из почв, которые являются чувствительным показателем климатических изменений почв северных регионов, потому что увеличение температуры приведет к оттаиванию ММП, повышению микробиологической активности и увеличению содержания лабильных органических веществ [32, 51]. Установлено, что экстрагируемое органическое вещество менее обога-

щено азотом, чем общий пул органического вещества исследованных почв, как в органогенных, так и в минеральных горизонтах. Отношение  $C_{\text{ВОВ}}/N_{\text{ВОВ}}$  водорастворимых веществ в почвах подгольцового пояса составляет 6–24 для органогенных и 5–24 для минеральных горизонтов. Широкий диапазон отношения  $C_{\text{ВОВ}}/N_{\text{ВОВ}}$  характеризуются органогенные горизонты почв горно-тундрового пояса (13–49). Отношение углерода к азоту водных вытяжек почв горно-лесного пояса наиболее широкое (13–51) в органогенных горизонтах, в минеральных – 7–30. Показатель отношения  $C_{\text{ВОВ}}/N_{\text{ВОВ}}$  в органогенных горизонтах почв с ММП варьирует от 16 до 44, в минеральных – от 8 до 27.

Важным критерием является доля углерода ВОВ от общего содержания углерода. Максимальные доли  $C_{\text{ВОВ}}$  от  $C_{\text{общ}}$  для всех исследованных почв приходятся на органогенные горизонты. В органогенных горизонтах почв горно-тундрового пояса содержится от 1.4 до 4.8%  $C_{\text{ВОВ}}$ , подстилки почв подгольцового пояса содержат 1.8–4.7%  $C_{\text{ВОВ}}$ , углерод ВОВ в органогенных горизонтах подзолов составляет 1.7–3.7%,  $C_{\text{ВОВ}}$  в подстилках почв с ММП варьирует от 1.9 до 3.2%. В минеральных горизонтах доля водораствори-

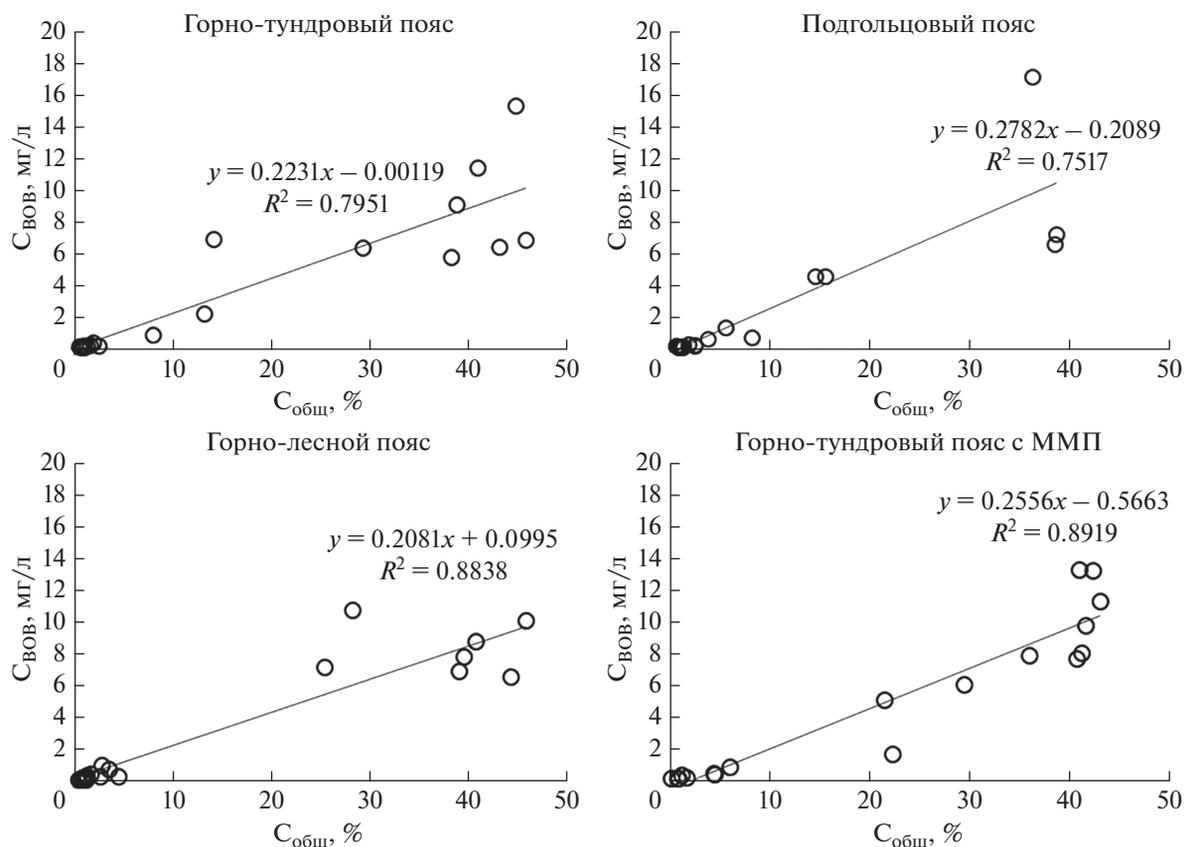


Рис. 5. Взаимосвязь содержания общего водорастворимого углерода ( $C_{\text{ВОВ}}$ ) и общего углерода ( $C_{\text{общ}}$ ) исследованных почв.

мого углерода уменьшается. Однако выявлено увеличение доли  $C_{\text{ВОВ}}$  в нижних минеральных горизонтах исследованных почв. Наиболее выражено увеличение доли ВОВ для почв нижних частей склонов с подстилкой ММП, которые являются стоком лабильных органических веществ из геохимически подчиненных склоновых ландшафтов. В минеральных горизонтах почв горно-тундрового пояса доля водорастворимой фракции варьировала от 0.6 до 3.1%, в почвах подгольцового пояса – от 0.1 до 2.9%. Высокие доли  $C_{\text{ВОВ}}$  выявлены в подзолистых горизонтах E<sub>h1</sub> с признаками потечности гумуса – до 2.4%. Доли  $C_{\text{ВОВ}}$  в нижних горизонтах почв с ММП составляют от 0.8 до 12%. В целом, полученные значения по содержанию и распределению водорастворимой фракции углерода согласуются с данными по почвам Аляски, Западной Сибири и европейского сектора Российской Арктики [28, 29, 51].

Вероятно, некоторое увеличение содержания водорастворимого углерода в общем пуле связано с миграцией водорастворимых компонентов из вышележащих органогенных горизонтов в условиях промывного водного режима. Профильные

и латеральные потоки лабильного органического вещества в значительной степени определяются преимущественными направлениями движения воды. Вероятно, для почв, расположенных в разных растительных поясах, доминирующую роль будут выполнять щебнистость профиля, способствующая перемещению органических веществ из верхних горизонтов вглубь профиля [4, 12, 33, 46], крутизна склонов и подстилка ММП, которые служат развитию мерзлотной ретинизации и являются барьером для дальнейшей миграции лабильного органического вещества [4, 14]. Рассмотренные факторы оказывают существенное влияние на содержание и распределение ВОВ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках классической концепции вертикальной зональности впервые исследована специфика распределения гидрофильных и гидрофобных фракций щелочерастворимого органического вещества почв в соответствии с катенарной организацией почвенного покрова западного макросклона горной системы Приполярного Урала. Амфифильные свойства зависят от характера биогеоцено-

Таблица 2. Содержание водорастворимых органических соединений в почвах

Участок	Горизонт	Глубина, см	C <sub>ВОВ</sub>	N <sub>ВОВ</sub>	C <sub>ВОВ</sub> /N <sub>ВОВ</sub>	ω C <sub>ВОВ</sub> от C <sub>общ</sub> , %
			мг/г			
Горно-тундровый пояс						
ГТ1	O(L)	0–3	11.5 ± 2.3	0.78 ± 0.15	17	2.8
	O(F)	3–7(10)	6.4 ± 1.3	0.32 ± 0.06	23	2.1
	BH	7(10)–20(30)	0.9 ± 0.2	0.05 ± 0.01	21	1.0
	BG	20(30)–50	0.16 ± 0.03	0.007 ± 0.001	29	1.1
ГТ2	O(L)	0–4	6.5 ± 1.3	0.16 ± 0.03	49	1.5
	O(H)	4–10	9.2 ± 1.8	0.24 ± 0.05	44	2.3
	BH	10–20	2.2 ± 0.4	0.10 ± 0.02	25	1.6
	BCg	20–40	0.15 ± 0.03	0.008 ± 0.002	22	1.4
	Cg	40–60	0.13 ± 0.03	0.007 ± 0.001	21	1.4
ГТ3	O	0–5	7.0 ± 1.4	0.30 ± 0.06	27	4.8
	BH	5–20	0.16 ± 0.03	0.009 ± 0.002	22	0.6
	BCg	20–40	0.06 ± 0.01	0.0023 ± 0.0005	31	0.6
	Cg	40–65	0.05 ± 0.01	0.0020 ± 0.0004	30	0.6
ГТ4	O(L)	0–5	15.5 ± 3.1	1.37 ± 0.27	13	3.4
	O(F)	5–10	6.9 ± 1.4	0.44 ± 0.09	18	1.4
	O(H)	10–15	5.8 ± 1.2	0.36 ± 0.07	19	1.5
	BH1	15–30	0.3 ± 0.1	0.018 ± 0.004	23	1.7
	BH2	30–55	0.21 ± 0.04	0.026 ± 0.005	9	1.2
	BC	55–80	0.11 ± 0.02	0.005 ± 0.001	26	1.9
Подгольцовый пояс						
ПГ1	O(L)	0–1	17.3 ± 3.5	0.83 ± 0.17	24	4.7
	O(F + H)	1–5	7.3 ± 1.5	0.35 ± 0.07	24	1.8
	AУr	5–25	0.7 ± 0.1	0.05 ± 0.01	16	0.8
	CRM	25–40	0.16 ± 0.03	0.008 ± 0.002	23	1.8
	C	40–60	0.14 ± 0.03	0.007 ± 0.001	22	1.7
ПГ2	O	0–5	6.7 ± 1.3	0.49 ± 0.10	16	1.7
	AУ	5–10	1.4 ± 0.3	0.08 ± 0.02	20	2.4
	AУBm	10–25	0.3 ± 0.1	0.014 ± 0.003	24	1.4
	BC	25–40	0.24 ± 0.05	0.014 ± 0.003	21	0.9
	C	40–60	0.18 ± 0.04	0.010 ± 0.002	22	2.5
ПГ3	O	0–1	4.6 ± 0.9	0.94 ± 0.19	6	2.8
	AУ	1–10	0.22 ± 0.04	0.022 ± 0.004	12	0.9
	CRM	10–30	0.10 ± 0.02	0.026 ± 0.005	5	0.7
	BC	30–50	0.09 ± 0.02	0.007 ± 0.001	16	0.8
ПГ4	O	0–1	4.6 ± 0.9	0.41 ± 0.08	13	2.9
	AУ	1–9	0.6 ± 0.1	0.05 ± 0.01	15	1.5
	AУBm	10–30	0.14 ± 0.03	0.009 ± 0.002	17	0.9
	BC	30–50	0.15 ± 0.03	0.013 ± 0.003	13	1.1
	C	50–↓	0.13 ± 0.03	0.017 ± 0.003	9	1.3
Горно-лесной пояс						
ГЛ1	O(L)	0–7	10.7 ± 2.1	0.30 ± 0.06	42	3.7
	O(F)	10–16	6.5 ± 1.3	0.16 ± 0.03	48	1.4
	O(H)	16–18	7.8 ± 1.6	0.18 ± 0.04	51	1.9
	Ehi	18–25	0.7 ± 0.1	0.04 ± 0.01	20	2.0

Таблица 2. Окончание

Участок	Горизонт	Глубина, см	$C_{\text{ВОВ}}$	$N_{\text{ВОВ}}$	$C_{\text{ВОВ}}/N_{\text{ВОВ}}$	$\omega C_{\text{ВОВ}}$ от $C_{\text{общ}}$ , %
			мг/г			
ГЛ2	BF1	25–32	$0.3 \pm 0.1$	$0.014 \pm 0.003$	22	1.0
	BF2	32–50	$0.18 \pm 0.04$	$0.010 \pm 0.002$	22	1.4
	BC	50–70	$0.21 \pm 0.04$	$0.04 \pm 0.01$	7	2.2
	O	0–10	$8.7 \pm 1.7$	$0.26 \pm 0.05$	39	2.1
	E	10–22	$0.3 \pm 0.1$	$0.018 \pm 0.004$	20	2.4
	BF	22–40	$0.15 \pm 0.03$	$0.008 \pm 0.002$	21	1.9
ГЛ3	BCg	40–60	$0.06 \pm 0.01$	$0.004 \pm 0.001$	18	1.2
	O(L)	0–3	$6.9 \pm 1.4$	$0.44 \pm 0.09$	18	1.7
	O(H)	3–5	$7.1 \pm 1.4$	$0.62 \pm 0.12$	13	2.8
	Ehi	5–10	$0.4 \pm 0.1$	$0.020 \pm 0.004$	24	2.3
ГЛ4	BF	10–30(35)	$0.14 \pm 0.03$	$0.007 \pm 0.001$	22	1.3
	BCg	30(35)–45	$0.05 \pm 0.01$	$0.003 \pm 0.001$	23	0.6
	C	45–60	$0.05 \pm 0.01$	$0.006 \pm 0.001$	11	1.1
	O	0–5	$10.0 \pm 2.0$	$0.60 \pm 0.12$	19	2.1
	E	5–15(20)	$1.0 \pm 0.2$	$0.04 \pm 0.01$	30	3.3
	BHF	15(20)–40	$0.3 \pm 0.1$	$0.015 \pm 0.003$	21	0.6
	BC	40–60	$0.07 \pm 0.01$	$0.004 \pm 0.001$	22	0.6
	Горно-тундровый пояс с ММП					
ГТМ1	Очес	0–7	$13.3 \pm 2.7$	$0.43 \pm 0.09$	36	3.2
	T1	7–15	$11.3 \pm 2.3$	$0.40 \pm 0.08$	33	2.6
	T2	15–20	$5.1 \pm 1.0$	$0.18 \pm 0.04$	33	2.3
	CRg	30–45	$0.3 \pm 0.1$	$0.014 \pm 0.003$	27	0.7
	CR <sup>⊥</sup>	45–↓	$0.3 \pm 0.1$	$0.04 \pm 0.01$	8	2.7
ГТМ2	Очес	0–20(25)	$7.7 \pm 1.5$	$0.26 \pm 0.05$	34	1.9
	T	20(25)–30	$7.9 \pm 1.6$	$0.29 \pm 0.06$	31	2.2
	Ghi	30–35	$1.6 \pm 0.3$	$0.08 \pm 0.02$	25	0.7
	BG <sup>⊥</sup>	35–50	$0.13 \pm 0.03$	$0.006 \pm 0.001$	24	0.8
ГТМ3	O(L)	0–5	$13.3 \pm 2.7$	$0.74 \pm 0.15$	21	3.1
	O(F + H)	5–10(13)	$6.1 \pm 1.2$	$0.45 \pm 0.09$	16	2.1
	BH	10(13)–20(30)	$0.8 \pm 0.2$	$0.05 \pm 0.01$	21	0.3
	BFG <sup>⊥</sup>	20(30)–40(45)	$0.4 \pm 0.1$	$0.04 \pm 0.01$	12	0.7
ГТМ4	O(L)	0–3	$8.0 \pm 1.6$	$0.36 \pm 0.07$	26	1.9
	O(F + H)	3–8	$9.8 \pm 2.0$	$0.26 \pm 0.05$	44	2.3
	Gcf	8–22	$0.09 \pm 0.02$	$0.008 \pm 0.002$	13	1.0
	BCg	22–45	$0.09 \pm 0.02$	$0.006 \pm 0.001$	19	1.1
	Cg <sup>⊥</sup>	45–70	$0.08 \pm 0.02$	$0.005 \pm 0.001$	17	12.0

Примечание.  $C_{\text{ВОВ}}$  – органический водорастворимый углерод,  $N_{\text{ВОВ}}$  – органический водорастворимый азот,  $\omega C_{\text{ВОВ}}$  – доля водорастворимого углерода от общего углерода почвы.  $\pm$  – аналитическая ошибка.

ческой организации растительности в системе горно-тундрового–подгольцового–горно-лесного и горно-тундрового пояса с ММП, что является следствием ведущей роли растительного покрова, определяющего поступление и характер ПОВ.

Показано, что содержание водорастворимых соединений углерода и азота обусловлено спецификой напочвенного покрова, а распределение ВОВ в профиле почв определяется в первую очередь склоновыми процессами, щебнистостью и

многолетнемерзлыми породами. Высказана гипотеза, что большое содержание водорастворимых форм углерода и специфика организации органического вещества почв в пределах самого нижнего элементарного ландшафта, относящегося к горно-тундровому поясу с ММП, и замыкаются латеральным переносом подвижных форм органического вещества почв из пределов залегающих выше элементарных ландшафтов.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-34-00618 “Особенности органического вещества почв Приполярного Урала” и в рамках бюджетной темы НИР “Выявление общих закономерностей формирования и функционирования торфяных почв на территории Арктического и Субарктического секторов Европейского Северо-Востока России (AAAA-A17-117122290011-5)”.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ведрова Э.Ф., Решетникова Т.В.* Масса подстилки и интенсивность ее разложения в 40-летних культурах основных лесобразующих пород Сибири // Лесоведение. 2014. № 1. С. 42–50.
2. *Власенко О.А.* Динамика углерода подвижного гумуса в агрочерноземе при возделывании яровой пшеницы с помощью ресурсосберегающих технологий // Вестник КрасГАУ. 2015. № 9. С. 60–65.
3. *Горчаковский П.Л.* Растительный мир высокогорий Урала. М.: Наука, 1975. 248 с.
4. *Губин С.В.* Динамика верхней границы многолетней мерзлоты и проблема регинизации гумуса в тундровых почвах Северо-Востока России // Проблемы эволюции почв. Пушино, 2003. С. 168–172.
5. *Добровольский Г.В., Урусевская И.С.* География почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. 460 с.
6. *Дымов А.А., Низовцев Н.А.* Амфифильные свойства почвенного органического вещества преобладающих хвойных деревьев средней тайги // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 1. С. 62–68.
7. *Дымов А.А., Милановский Е.Ю.* Изменения органического вещества таежных почв в процессе естественного лесовозобновления растительности после рубок (Средняя тайга Республики Коми) // Почвоведение. 2014. № 1. С. 39–47. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14010043>
8. *Дымов А.А., Милановский Е.Ю.* Оценка комплексобразования органического вещества почв с медью методом аффинной хроматографии // Почвоведение. 2020. № 2. С. 178–187. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20020045>
9. *Дымов А.А.* Сукцессии почв в бореальных лесах Республики Коми. М.: ГЕОС, 2020. 336 с.
10. *Зайдельман Ф.Р.* Процесс глееобразования и его роль в формировании почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 316 с.
11. *Карманов А.П., Кочева Л.С.* Целлюлоза и лигнин – свойства и применение. Сыктывкар, 2006. 248 с.
12. *Макеев О.В.* Криогенные почвы // Криогенные почвы и их рациональное использование. М.: Наука, 1977. С. 5–13.
13. *Маслов М.Н., Копешна Е.И., Зудкин А.Г., Королева Н.Е., Шулаков А.А., Онищенко В.Г., Макаров М.И.* Запасы фитомассы и органического углерода в тундровых экосистемах северной Фенноскандии // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2016. № 3. С. 30–36.
14. *Мергелов Н.С., Таргульян В.О.* Процессы накопления органического вещества в минеральной толще мерзлотных почв приморских низменностей Восточной Сибири // Почвоведение. 2011. № 3. С. 275–287.
15. *Милановский Е.Ю.* Гумусовые вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения. М.: ГЕОС, 2009. 186 с.
16. *Мильхеев Е.Ю., Чимитдоржиева Г.Д., Цыбенков Ю.Б.* Амфифильные компоненты гуминовых веществ лугово-черноземных мерзлотных почв и бурозема // Агрохимия. 2018. № 6. С. 25–29. <https://doi.org/10.7868/S0002188118060029>
17. *Орлов Д.С.* Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 325 с.
18. *Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И.* Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с.
19. *Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Саврова А.Л.* Сравнительное изучение сорбционного поглощения тяжелых металлов гуминовыми кислотами различного происхождения // Докл. РАН. Геохимия. 1995. Т. 345. № 4. С. 1.
20. *Полевой определитель почв России.* М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
21. *Старцев В.В., Жангуров Е.В., Дымов А.А.* Характеристика почв высотных поясов хребта Япстикнурд (Приполярный Урал) // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2017. № 38. С. 6–27. <https://doi.org/10.17223/19988591/38/1>
22. *Токарева И.В., Прокушкин А.С.* Содержание органического вещества и его водорастворимой фракции в мохово-лишайниковых ассоциациях криолитозоны // Вестник Моск. гос. ун-та леса. Лесной вестник. 2012. № 1. С. 156–159.
23. *Тонконогов В.Д.* Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. 304 с.
24. *Толпешта И.И., Соколова Т.А.* Общая концентрация и фракционный состав соединений алюминия в почвенных растворах из торфянисто-подзоли-

- сто-глееватых почв на двучленных отложениях // Почвоведение. 2011. № 2. С. 153–164.
25. *Тутлянова А.А., Чупрова В.В.* Изменение круговорота углерода в связи с различным использованием земель (на примере Красноярского края) // Почвоведение. 2003. № 2. С. 211–219.
  26. *Умарова А.Б.* Преимущественные потоки влаги в почвах: закономерности формирования и значение в функционировании почв. М.: ГЕОС, 2011. 266 с.
  27. *Чупрова В.В., Люкшина И.В., Белоусов А.А.* Запасы и динамика легкоминерализуемой фракции органического вещества в почвах Средней Сибири // Вестн. КрасГАУ. 2003. Вып. 3. С. 65–73.
  28. *Шамрикова Е.В., Груздев И.В., Пунегов В.В., Хабибуллина 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>
  29. *Шамрикова Е.В., Кубик О.С., Пунегов В.В., Груздев И.В.* Влияние разнообразия биоты на состав низкомолекулярных водорастворимых органических соединений почв южной тундры // Почвоведение. 2014. № 3. С. 295–303. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14030101>
  30. *Шеин Е.В., Милановский Е.Ю.* Органическое вещество и структура почвы: учение В.Р. Вильямса и современность // Известия ТСХА. 2014. № 1. С. 42–51.
  31. *Юдин Ю.П.* Растительный мир. Производительные силы Коми АССР. Изд-во АН СССР, 1954. Т. III. Ч. I. 375 с.
  32. *Blagodatskaya E., Kuzyakov Y.* Mechanisms of real and apparent priming effects and their dependence on soil microbial biomass and community structure: critical review // Biol. Fertil. Soils. 2008. V. 45. P. 115–131.
  33. *Bockheim J.G., Tarnocai C.* Recognition of cryoturbation for classifying permafrost-affected soils // Geoderma. 1998. V. 81. P. 281–293.
  34. *Capriel T., Beck H., Borchert H., Harter P.* Relation between aliphatic fraction extracted with supercritical hexane, soil microbial biomass, and soil aggregate stability // Soil Sci. Soc. Am. J. 1990. V. 54. P. 415–420.
  35. *Christ M.J., David M.B.* Temperature and moisture effects on the production of dissolved organic carbon in a spodosol // Soil Biol. Biochem. 1996. V. 28(9). P. 1191–1199.
  36. *Eldor A.P.* The nature and dynamics of soil organic matter: Plant inputs, microbial transformations, and organic matter stabilization // Soil Biol. Biochem. 2016. V. 98. P. 109–126. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.04.001>
  37. *Hilli S., Stark S., Derome J.* Litter decomposition rates in relation to litter stock in boreal coniferous forest along climatic and soil fertility gradients // Appl. Soil Ecol. 2010. V. 46. P. 200–208.
  38. IUSS Working Group WRB. 2015. World reference base for soil resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. 106. Rome, 2015. FAO.
  39. *Kaiser K., Kaupenjohann M., Zech W.* Sorption of dissolved organic carbon in soil: effects of soil sample storage, soil-to-solution ratio, and temperature // Geoderma. 2001. V. 99. P. 317–328.
  40. *Kalbitz K., Soliger S., Park J.-H., Michalzik B., Matzner E.* Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review // Soil Science. 2000. V. 165. P. 277–304.
  41. *Kielland K.* Amino acid absorption by arctic plants: implications for plant nutrition and nitrogen cycling // Ecology. 1994. V. 75. P. 2373–2383.
  42. *Kling G.W.* Land-water interactions: The influence of terrestrial diversity on aquatic ecosystems. In: Arctic and alpine biodiversity // Ecological Studies. 1995. V. 113.
  43. *Kulikova N.A., Stepanova E.V., Koroleva O.V.* Mitigating activity of humic substances: direct influence on biota // Use humic Subst. to remediat. polluted environ.: from theory to pract. Springer, 2005. P. 285–309.
  44. *Kuzyakov Y., Domanski G.* Carbon input by plants into the soil // J. Plant Nutrition Soil Sci. 2000. V. 163. P. 421–431.
  45. *Michalzik B., Matzner E.* Dynamics of dissolved organic nitrogen and carbon in a Central European Norway spruce ecosystem // Europ. J. Soil Sci. 1999. V. 50(4). P. 579–590.
  46. *Moers M.E., Baas M., de Leeuw J. W., Boon J.J. and Schenck P.A.* Occurrence and origin of carbohydrates in peat samples from a red mangrove environment as reflected by abundances of neutral monosaccharides // Geochim. Cosmochim. Acta. 1990. V. 54. P. 2463–2472.
  47. *Neff J.C., Asner G.P.* Dissolved organic carbon in terrestrial ecosystems: synthesis and a model // Ecosystems. 2001. V. 4. P. 29–48.
  48. *Ríos I.P., Bouza J., Bortolus A., Alvarez M. del P.* Soil-geomorphology relationships and landscape evolution in a southwestern Atlantic tidal salt marsh in Patagonia, Argentina // J. South Am. Earth Sci. 2018. V. 84. P. 385–398. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.04.015>
  49. *Startsev V.V., Khaydapova D.D., Degteva S.V., Dymov A.A.* Soils on the southern border of the cryolithozone of European part of Russia (the Subpolar Urals) and their soil organic matter fractions and rheological behavior // Geoderma. 2020. V. 361. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114006>
  50. *Vesterdal L., Schmidt I.K., Callesen I., Nilsson L.O., Gundersen P.* Carbon and nitrogen floor and mineral soil under six common European tree species // Forest Ecol. Managem. 2008. V. 255. P. 35–48.
  51. *Xu C., Guo L., Dou F., Ping C.-L.* Potential DOC production from size-fractionated Arctic tundra soils // Cold Regions Sci. Technol. 2009. V. 55. P. 141–150. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2008.08.001>

## **Amphiphilic Properties and Water-Soluble Organic Matter of the Soils of the Subpolar Urals**

**V. V. Startsev<sup>1, \*</sup> and A. A. Dymov<sup>1</sup>**

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

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

The paper describes the hydrophilic-hydrophobic properties of organic matter, the content and distribution of water-soluble organic matter (WSOM) in the soils of the Subpolar Urals. It is revealed that the predominant vegetation type of the high-altitude zone determines the input and nature of soil organic matter (SOM). The moss-lichen ground cover of the alpine-tundra is determined by the intake of plant litter rich in aromatic compounds (up to 24.0%). In the grass communities of the subalpine zone, the hydrophilic fractions of the SOM predominate (the first fraction is 42.4–77.0%; the second – 0.3–12.6%). Woody vegetation of the mountain-forest zone leads to an increase in hydrophobic lignin-containing fractions (16.4–34.8%). Mountain-tundra vegetation zone soils with permafrost are characterized by an increase in the degree of moisture, resulting in the accumulation of compounds associated with Fe and Al (up to 75.4%) in mineral horizons. The calculation of the carbon (WSOM) reserves showed that they contribute from 0.3 to 9% to the total carbon reserves.

*Keywords:* hydrophobic interaction chromatography, fractionation, water soluble organic matter, Podzol, Umbrisol, Cryosol