

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ ЕСТЕСТВЕННО РАЗВИВАЮЩИХСЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

УДК 631.417+631.461

БУРОЗЕМЫ ЮГА ВИТИМСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ: ГУМУСОВЫЕ КАРМАНЫ, МОРФОЛОГИЯ, СВОЙСТВА, МИКРОБИОМ

© 2024 г. Э. О. Чимитдоржиева^{а,*} (<http://orcid.org/0000-0002-0227-5433>),
Ц. Д.-Ц. Корсунова^а, Ю. Б. Цыбенков^а, Г. Д. Чимитдоржиева^а

^аИнститут общей и экспериментальной биологии СО РАН, ул. Сахьяновой, 6, Улан-Удэ, 670047 Россия

*e-mail: erzhena_ch@mail.ru

Поступила в редакцию 29.02.2024 г.

После доработки 07.06.2024 г.

Принята к публикации 08.06.2024 г.

Изучена структура микробоценоза, физико-химические характеристики почвенного профиля буроземов и материала гумусовых карманов. Для буроземов (Cambisols), расположенных на юге Витимского плоскогорья, характерна особенность морфологического строения – наличие морозобойных трещин, которые образуют гумусовые карманы клиновидной формы, резко сужающиеся вниз по профилю. Гумусовые карманы заполнены гумусированным материалом темно-коричневого цвета с черными полосами, которые резко контрастируют по цвету и свойствам с окружающим почвенным профилем. По сравнению с профилем буроземов на соответствующих глубинах, почвенная масса из гумусовых карманов менее уплотнена. Увеличение общей пористости приводит к повышению водопроницаемости гумусированной массы морозобойных трещин. Выявлены особенности структуры микробоценоза и углерода микробной биомассы буроземов в почвенном профиле и в почвенном материале карманов. В почвенном материале карманов содержание органического углерода и суммы поглощенных оснований распределено относительно равномерно, тогда как в профиле почвы показатели резко уменьшаются вниз по профилю.

Ключевые слова: органический углерод, гумусовые карманы, микробоценоз, мерзлота, Cambisols

DOI: 10.31857/S0032180X24110076, **EDN:** JOOLEQ

ВВЕДЕНИЕ

Буроземы – одна из самых широко представленных почв на почвенных картах мира. Они наиболее распространены в лесах умеренной зоны [34, 52], встречаются в различных частях мира: в горах Новой Зеландии, на юго-востоке Австралии, в Южной Америке, на равнинах Западной и Центральной Европы, на севере Аппалачских гор и прилегающих равнинных территориях Северной Америки, а также в горных районах Кавказа, Крыма, Карпат, Тянь-Шаня и Дальнего Востока [23]. Еще полвека назад Зонн писал, что “не исключено, что в дальнейшем буроземообразование ... будет выявлено на равнинах и нагорьях Средней и Восточной Сибири” [6, с. 83]. Герасимова с соавт. [11, с. 107] отмечали, что: “Буроземы “вышли за пределы” своего традиционного ареала в последние 20–30 лет сначала в западных и северо-западных частях Русской равнины [6], позднее

на Урале и в горах Южной Сибири [30]”. Таким образом, эти почвы, относящиеся к референтной группе Cambisols (согласно международной системе классификации почв WRB), могут быть обнаружены в различных экосистемах – от вечной мерзлоты до влажных тропиков, субтропиков и водно-болотных угодий [45]. Разнообразие Cambisols настолько велико, что типичный Haplic Cambisols или Cambisols без особых свойств исключен из основного квалификатора [47].

Рейнтамом [33] и Гагариной [8] было начато исследование климатогенных и литогенных буроземов Балтийского региона. Ими отмечено, что в регионах со сходными климатическими условиями распределение и свойства почв, а также разнообразие фитоценозов, как правило, вызывается варьированием литологического фактора [9, 31, 32]. Исследованы почвы Армении, изучены особенности Dystric/Eutric Cambisols, которые морфологически соответствуют Podzols [53]. Изучение химических

свойств почвы и численности микроорганизмов в Eutric Cambisols на территории западной и юго-западной Сербии проведено в работе [59]. Исследована биологическая активность буроземов старо-возрастных вырубок Западного Кавказа [38].

Географическое распространение буроземов в Байкальском регионе вызывает интерес у исследователей уже давно. По мнению авторов [37], в почвенном покрове хр. Хамар-Дабан формируются различные подтипы буроземов: кислые, слабонасыщенные и иллювиально-гумусовые. Согласно работе [4], на юге Витимского плоскогорья были выделены буроземы грубогумусированные. На восточном побережье озера Байкал обнаружены буроземы грубогумусовые и глинисто-иллювирированные [5]. В Западном Забайкалье можно встретить буроземы грубогумусовые, буроземы остаточного-карбонатные [35], а в Южном Предбайкалье — оподзоленные буроземы [17]. Исследователи выделили региональные особенности свойств и признаков буроземов в контексте их генезиса и эволюции. Микроморфологическое строение буроземов юга Витимского плоскогорья изучено в работе [49].

Изучение биомассы микроорганизмов и структуры микробиоценоза является ключевым вопросом, поскольку они играют важную роль в биохимических процессах почвы. Почвенные микроорганизмы активно участвуют в процессах синтеза и разложения органического вещества, дисбаланс этих процессов может отразиться на запасах почвенного углерода и привести к увеличению эмиссии парниковых газов в атмосферу [14]. Имеются данные высокопроизводительного секвенирования Illumina, которые ограничиваются начальным периодом

оттаивания буроземов [62]. Однако структура микробиоценоза в буроземах и в почвенном материале морозобойных трещин в период максимального оттаивания почв не изучена.

Рабочая гипотеза — на формирование буроземов большое влияние оказывают литологический и климатогенный факторы. Элювий рыхлых четвертичных пород вместе с континентальным климатом способствуют формированию бурозема оподзоленного. Предположительно происходит перераспределение и накопление органического вещества в карманах криогенного происхождения, микробиом которых представляет собой отдельную экологическую нишу.

Цель работы — изучение морфологии, физико-химических свойств и структуры микробиоценоза буроземов юга Витимского плоскогорья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования — буроземы оподзоленные (почвенный профиль почв и почвенная масса из гумусовых карманов) юга Витимского плоскогорья (рис. 1). Диагностика и классификация почв произведена по [27].

Согласно геокриологическому районированию, Еравнинская котловина расположена в зоне перехода от сплошного распространения многолетней мерзлоты к островному типу. В этом районе толщина многолетней мерзлоты составляет от 70 до 100 м, при этом ее верхний слой находится на глубине от 1.5 до 3 м от дневной поверхности [20]. Согласно данным [40], многолетняя мерзлота расположена на глубине 270 см. Тип мерзлоты — переходная зона между сплошной и спорадической



Рис. 1. Карта-врезка района исследования.

мерзлотой. Для Витимского плоскогорья характерно повсеместное распространение рыхлых четвертичных отложений, представленных элювием, делювием и аллювием. Они покрывают все водораздельные пространства и горные склоны и выполняют межгорные понижения. Вследствие активного действия процессов физического выветривания рыхлые отложения сплошным плащом покрывают все водораздельные пространства и горные склоны [22]. Разрезы были заложены в местности Дархитуй, GPS-координаты даны в табл. 1. Для характеристики почвенного профиля образцы отбирали из разрезов с шагом 10 см [36]. Основные физико-химические свойства буроземов определяли по [3, 7]. Растительность идентифицировали по [25].

Численность микроорганизмов в почвах определяли методом прямого микроскопирования на люминесцентном микроскопе Микромед 3 ЛЮМ ($n = 3$). Для подсчета клеток почвенных бактерий и актиномицетов окрашивали препараты акридиновым оранжевым, а мицелий грибов — калькофлуором белым [28, 29]. Углерод микробной биомассы (С-биомасса) в почве определяли методом регидратации по Мирчинк и Паникову ($n = 3$) [10].

Полученные данные статистически обрабатывали в программе Microsoft Excel 2003.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Растительность. На буроземах произрастает березово-осиново-лиственничный разнотравно-брусничный лес с подлеском из рододендрона даурского. Древесный ярус формирует *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. Присутствуют в древостое также *Populus tremula* L. и *Betula platyphylla* Sukaczew. Древостой имеет средние показатели: 2–4 класса бонитета, сомкнутость крон 0.4–0.6, проективное покрытие крон 40–50%, высота 15–22 м, средний диаметр стволов 16–31 см, неравномерный по густоте стояния стволов. Формула древостоя Л7ОЗБ1.

Подлесок негустой, неравномерный в окнах, средняя высота его составляет 1.5–1.8 м. Представлен *Rhododendron dauricum* L., общее проективное покрытие (ОПП) которого составляет 5–10%. В составе подлеска присутствуют *Cotoneaster melanocarpus* Fischer ex Blytt и *Rosa acicularis* Lindley.

Травяно-кустарничковый ярус невысокий, неравномерный по густоте и высоте. ОПП — 70%, местами до 35%. Средняя высота яруса — 20 см, максимальная — 40 см. Преобладает *Vaccinium vitis-idaea* L., обильны *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt и *Pyrola asarifolia* Michaux. Присутствуют *Galium boreale* L., *Calamagrostis* sp., *Carex pediformis* C.A. Meyer, *Pulsatilla flavescens* (Zucc.) Juz., *Vicia unijuga* A. Br., *Lathyrus humilis* (Ser.) Sprengel,

Таблица 1. Морфометрическая характеристика почвенных профилей буроземов оподзоленных, Дархитуй, Еравнинский район

Параметр	Разрез 1, 52°31'04.70" N, 111°26'02.30" E, высота 1015 м	Разрез 2, 52°31'4.24" N, 111°26'7.24" E, высота 1015 м	Разрез 3, 52°051'80.1" N, 111°043'36.1" E, высота 1029 м
Формула почвенного профиля	A0–AY–Ae–BM–BMC, где A0 $1.7 \pm 0.4^*$ см; Cv = 34.6%, AY 3.7 ± 0.8 см; Cv = 31.5%, Ae 4.7 ± 1.1 см; Cv = 32.7%, BM 37.0 ± 7.2 см; Cv = 27.4%, BC от 48.3 ± 7.4 см и глубже; Cv = 21.6%		
Мощность карманов	25.0 ± 0.7 см; Cv = 4.0%		
Окраска	Сравнительно равномерный и однотонный (за исключением гумусового горизонта) бурый или коричнево-бурый цвет Слабая дифференциация на генетические горизонты		
Влажность	От свежего до влажного		
Структура	От мелкокомковатой до непрочнокомковатой		
Сложение почвы	От рыхлого до уплотненного		
Включения	В нижней части профиля — щебень, хрящ		
Гранулометрический состав	Средний суглинок	От среднего до тяжелого суглинка	Средний суглинок
Вскипание	Нет	Нет	Нет

Примечание. Cv — коэффициент вариации; * ± ошибка среднего арифметического.

Sanguisorba officinalis L. и др. Мохово-лишайниковый покров не развит.

Морфология буроземов. Буроземообразование включает в себя следующие почвообразовательные процессы: а) дерновый, который приводит к формированию под лесной подстилкой A0 серогумусового горизонта АУ; б) метаморфический с формированием структурно-метаморфического горизонта ВМ; в) некоторые исследователи выделяют лессиваж; оподзоливание проявляется в виде присыпки в нижней части горизонта АУ, выделяется как Ae. Буроземы характеризуются относительно небольшим возрастом почвообразования, в связи с чем в них проявляется склонность к эволюции в другие типы почв. В условиях перехода к степям наблюдается эволюция их в черноземы. При промывном водном режиме, но с поверхностным переувлажнением буроземы могут эволюционировать в подзолистые или лессивированные почвы [23].

Известно, что идеи почвенного метаморфизма свойственны не только буроземам, но и коричневым почвам, некоторым каштановым, а также элювиально-метаморфическим и даже некоторым рендзинам бореального пояса. В структурно-метаморфических почвах допускается присутствие элювиального, субэлювиального или гумусово-элювиального, а также аккумулятивно-карбонатного горизонтов [27]. В почвах отдела светлогумусовых аккумулятивно-карбонатных почв возможно проявление своеобразного структурного метаморфизма. Каштановые почвы имеют ясную цветовую и структурную дифференциацию профиля, тогда как буроземы — слабо дифференцированы на генетические горизонты (за исключением гумусового горизонта). Под светло-гумусовым горизонтом в них последовательно различаются: каштановый ореховато-мелкопризматический ксерометаморфический горизонт ВМК, не имеющий кутан по граням отдельностей и карбонатных новообразований; коричнево-бурый структурно-метаморфический горизонт ВМ; текстурно-карбонатный горизонт [27].

Ниже приведено морфометрическое описание почвенных профилей буроземов оподзоленных и фотографии разрезов (рис. 2).

Отличительной особенностью исследованных буроземов является наличие ярко выраженных морозобойных трещин, которые достигают до 30–40 см в глубину. Гумусовые карманы образуются в результате разрастания криогенных трещин, вызывая языковатость и карманистость гумусового горизонта почвенного профиля [19]. Карманы имеют клиновидную форму с резким сужением в нижней части профиля, трещины заполнены темно-коричневым гумусированным материалом с черными прослоями. Сеть полигонов хорошо прослеживается до глубины 35–40 см. Фактическое распределение нижней границы гумусовых

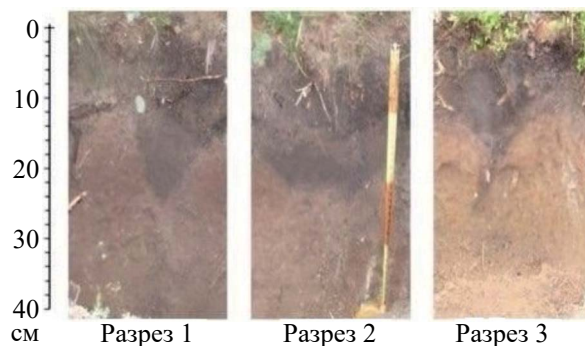


Рис. 2. Фотографии почвенных профилей буроземов оподзоленных юга Витимского плоскогорья.

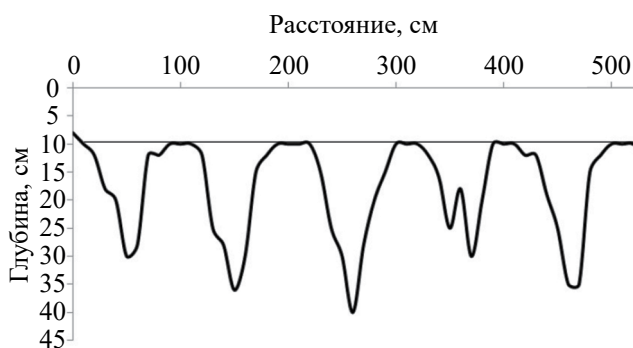


Рис. 3. Пространственное варьирование мощности гумусовых карманов буроземов.



Рис. 4. Сеть полигонов на буроземах.

карманов приведено на рис. 3. Почвенный покров характеризуется отчетливо выраженной сетью полигонов на поверхности почвы (рис. 3, 4), где ширина трещин на глубине 25 см составляет от 20 до 35 см, ниже резко уменьшается. Трещины имеют длину 1.0–1.5 м, магистральные крупные трещины достигают 2–3 м, что определяет периметр полигонов до 13 м.

Физико-химическая характеристика буроземов. Содержание органического углерода ($C_{орг}$) в 0–10 см слое почвы составляет 4.9%, в слое

20–30 см показатель резко уменьшается до 0.77% (табл. 2). В почвенном материале гумусового кармана на глубине 10–20 см содержание углерода высокое 5.1%, в слое 20–30 см $C_{\text{орг}}$ составляет 3.7%, что свидетельствует об иммобилизации углерода в криогенном резервуаре.

Выявлена средняя обогащенность почвы азотом – 11–15%, его количество варьирует от 0.21 до 0.63% в почвенном профиле и от 0.35 до 0.64% в почвенном материале карманов. В горизонте АУ и в почвенном материале гумусового кармана отмечается высокое содержание обменных оснований – 35.9–36.6 смоль(экв)/кг. Почва имеет слабокислую реакцию среды.

В почвенном профиле сложные процессы криогенного трещинообразования усложняют морфологическую структуру, что выражается, в первую очередь, в варьировании содержания $C_{\text{орг}}$ в почвенном профиле. Коэффициент вариации содержания органического углерода составляет 15–30% в почвенном профиле и 29–50% в карманах.

В буроземах отмечена высокая степень аккумуляции углерода, где запасы углерода в верхнем 0–30 см слое почвы составляют 8.9 кг/м². В почвенном материале морозобойных трещин в слое 0–30 см содержится до 14.6 кг/м² органического углерода, что свидетельствует о перераспределении и накоплении органического материала криогенного происхождения.

В исследуемых почвах содержание $C_{\text{орг}}$ находится в пределах референсных значений для данного типа почв по сравнению с другими регионами. Например, в буроземах Западного Кавказа – 4.3 [38], в буроземах Республики Армения $C_{\text{орг}}$ достигает до 6.5% [53], на севере Ирана содержание $C_{\text{орг}}$ в почвах составляет 3.0–5.5% [42], а в буроземах Кузнецкого Алатау – от 3.5 до 5.2% [34], в буроземах темноцветных Карелии 2.3–3.5% [16]. В литературе нет единообразия представления данных по запасам углерода, поэтому далее данные приведены в авторской интерпретации. В буроземах европейской части России запасы $C_{\text{орг}}$ составляют 8.7–17.4 кг С/м² (на всю толщу почвы) [26]. Запасы углерода в буроземах типичных

тяжелосуглинистых на глинистых сланцах Северо-Западного Кавказа в слое 0–100 см составляют 8.9 кг С/м² [2]. Запасы углерода в буроземах оподзоленных Самарской Луки в пределах профиля – 16 кг С/м², в буроземах остаточно-карбонатных – 23 кг С/м² [1]. В буроземах элювиированных Приполярного Урала запасы $C_{\text{орг}}$ в 0–50 см составляют 9.6 кг С/м² [13].

Исследуемые буроземы по гранулометрическому составу среднесуглинистые, вниз по профилю происходит незначительное утяжеление состава (табл. 3). В почвенном материале гумусовых карманов содержание физической глины относительно равномерно и не превышает 38.75%. В изученных почвах величина плотности почвы колеблется в широких пределах, увеличиваясь вниз по профилю, особенно большие различия отмечаются между карманами и почвенным профилем. Аналогичным образом изменяется и плотность твердой фазы почв. Гумусовые карманы рыхлые по структуре (0.93–1.40 г/см³), тогда как почвенный профиль уплотнен (1.36–1.52 г/см³). По показателям пористости профиль почвы неоднороден. Почвенный материал из криогенных трещин обладает более высокой общей пористостью, чем в почвенном профиле.

Коэффициенты вариации общей пористости в почвенном профиле буроземов и карманах составляют 5.24. Коэффициенты вариации по плотности почвы и твердой фазы почвы низки.

Таким образом, буроземы обладают удовлетворительными физическими свойствами. По физическим свойствам почвенная масса криогенных трещин буроземов имеет относительно хорошие показатели по сравнению с почвенным профилем, вниз по профилю эти свойства ухудшаются.

Углерод микробной биомассы. Почвенный материал гумусовых карманов является своеобразной экологической нишей для микробиома, т.е. частью пространства, в пределах которой среда приобретает новые свойства, определяемые присутствием микробиоценоза. Известно, что горизонтальное и вертикальное перемещение микроорганизмов в почве затруднено из-за адсорбции

Таблица 2. Химические свойства буроземов ($n = 3$), $\pm$ ошибка среднего арифметического

Глубина, см	Углерод, %		Азот общий, %		рН водный		Обменные основания, смоль(экв)/кг	
	карман	почвенный профиль	карман	почвенный профиль	карман	почвенный профиль	карман	почвенный профиль
0–10	4.90 $\pm$ 0.65	4.90 $\pm$ 0.65	0.48 $\pm$ 0.02	0.48 $\pm$ 0.02	6.40 $\pm$ 0.01	6.40 $\pm$ 0.01	36.60 $\pm$ 0.35	36.60 $\pm$ 0.35
10–20	5.10 $\pm$ 0.76	0.75 $\pm$ 0.06	0.35 $\pm$ 0.03	0.21 $\pm$ 0.01	6.40 $\pm$ 0.02	6.60 $\pm$ 0.01	35.90 $\pm$ 0.51	17.60 $\pm$ 0.03
20–30	3.70 $\pm$ 0.92	0.77 $\pm$ 0.09	0.64 $\pm$ 0.02	0.21 $\pm$ 0.01	6.40 $\pm$ 0.01	6.60 $\pm$ 0.01	35.90 $\pm$ 0.51	17.60 $\pm$ 0.03

Таблица 3. Физические показатели буроземов Еравнинской котловины ($n = 3$), $\pm$ ошибка среднего арифметического

Объект	Глубина, см	Плотность твердой фазы почв, г/см ³	Плотность сложения, г/см ³	Пористость, %	Частицы размером <0.01 мм, %
Почвенный материал гумусового кармана	0–10	1.42 ± 0.01	0.93 ± 0.01	34.30 ± 0.02	37.8 ± 2.7
	10–20	1.73 ± 0.02	1.06 ± 0.005	38.84 ± 0.005	35.2 ± 7.3
	20–30	2.15 ± 0.005	1.25 ± 0.01	41.96 ± 0.01	35.9 ± 5.1
	30–40	2.17 ± 0.01	1.34 ± 0.02	38.11 ± 0.03	36.6 ± 5.3
	40–50	2.05 ± 0.03	1.40 ± 0.01	31.85 ± 0.01	38.8 ± 2.2
Почвенный профиль	0–10	2.38 ± 0.01	1.36 ± 0.005	42.80 ± 0.007	37.8 ± 2.7
	10–20	2.31 ± 0.02	1.51 ± 0.02	34.73 ± 0.03	34.7 ± 0.6
	20–30	2.33 ± 0.01	1.53 ± 0.03	34.46 ± 0.01	46.2 ± 6.3
	30–40	2.29 ± 0.007	1.56 ± 0.01	32.01 ± 0.005	38.9 ± 9.7
	40–50	2.36 ± 0.02	1.52 ± 0.007	35.58 ± 0.02	46.1 ± 2.0

микроорганизмов почвенными частицами и сложности их передвижения по мелкопористой системе почвы. Следует отметить, что небольшие по расстоянию миграции микроорганизмов в почве возможны, благодаря наличию у микробов таксисов, они осуществляются целенаправленно. Трещины, в свою очередь, являются каналами переноса микроорганизмов с фильтрующейся влагой и их накопления в гумусовом кармане.

В почвенном материале гумусового кармана обнаружено значительное накопление углерода микробной биомассы по сравнению с профилем почвы. На глубине 10–20 см этот показатель в почвенном материале карманов достигает 43.2 мг/100 г почвы (рис. 5), далее незначительно снижается вниз по профилю. В почвенном профиле буроземов отмечается убывание С-биомассы с увеличением глубины от 31.5 мг/100 г в слое 10–20 см до 16.5 мг/100 г на глубине 30–40 см. Предположительно, уменьшение влажности почвы и уменьшение поступления органических веществ в нижележащие слои почвы приводит к уменьшению углерода в С-биомассе. Отмечены высокие коэффициенты корреляции между $C_{\text{орг}}$ и С-биомассы ($r = 0.99$ для морозобойной трещины и 0.97 для почвенного профиля).

В литературе не встретили данных о содержании С-биомассы материала почвенных карманов буроземов, поэтому для сравнения приведем пример данных С-биомассы почвенного материала гумусового кармана чернозема квазиглеевого [18]. Сравнивая содержание углерода микробной биомассы из морозобойных трещин и в почве с тех же глубин вмещающего горизонта, следует отметить, что показатели микробной биомассы и гумуса в

морозобойных трещинах выше. В черноземах квазиглеевых среднее содержание углерода микробной биомассы в 0–3 см слое морозобойной трещины довольно высокое – 91 мг/100 г почвы и с глубиной убывает: в слое 10–20 см – 82; 20–30 см – 53, а в собственно почвенном профиле на этих же глубинах значительно ниже – 32 и 18 мг/100 г почвы. Обнаружена сильная прямая корреляция между содержанием углерода гумуса и углерода микробной биомассы: в морозобойной трещине $r = 0.98$ и в почвенном профиле $r = 0.99$, что подтверждает зависимость активности роста микроорганизмов от наличия субстрата. На накопление С-биомассы огромное влияние оказывает физико-химические свойства и структура почвы, а также состояние и характер распределения органического вещества в ней. Подобная зависимость углерода биомассы микробных почв от содержания органического углерода отмечена и для мерзлотных почв [56].

Почвы разных климатических зон различаются по содержанию микробной биомассы. Например, буроземы кислые Западного Кавказа содержат С-биомассы 60–120 мг/100 г почвы [38]. В дерново-подзолистой почве под смешанным лесом содержание углерода микробной биомассы – 123.6 мг/100 г (при $C_{\text{орг}} = 1.57\%$). Отмечена высокая корреляционная зависимость углерода микробной биомассы с общим содержанием органического углерода ($r = 0.81–0.90$) [15].

Исследуемые почвы располагаются в зоне распространения сплошной и спорадической мерзлоты, поэтому изучение С-биомассы актуально в связи с изменением климата. Авторы [63], изучая оттепели на территории Тибетского нагорья, пришли к выводу, что резкая потеря углерода вечной

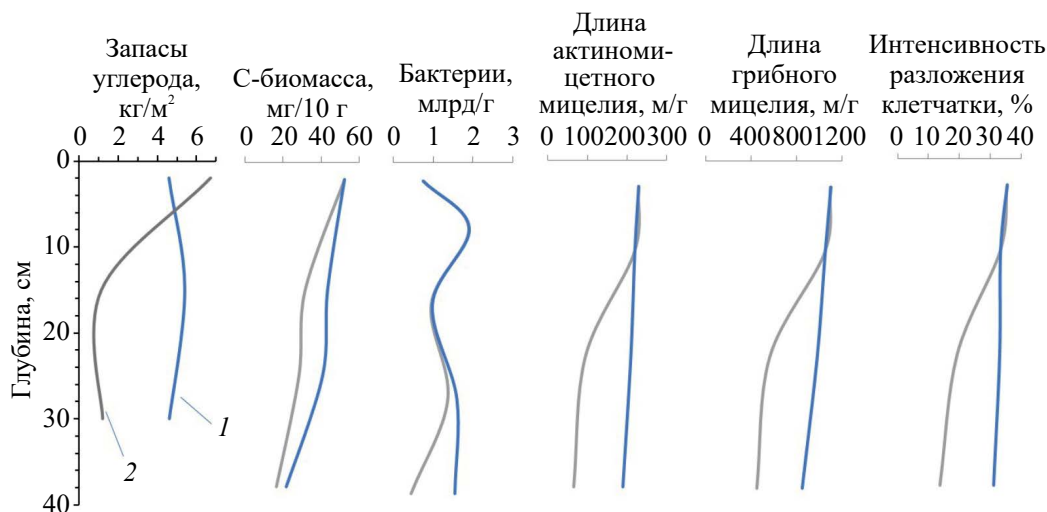


Рис. 5. Запасы углерода и показатели микробиологической активности в буроземах: 1 – гумусовый карман; 2 – профиль почвы.

мерзлоты при оттаивании в основном связана с потерей углерода микробной некромассы [44]. В умеренных, бореальных и арктических почвенных системах микробная биомасса часто увеличивается зимой и снова снижается весной. Такое накопление и выброс микробного углерода потенциально может привести к стабилизации углерода в почве в зимнее время [61].

Структура микробиоценоза буроземов. Функциональная роль микробиома заключается в биоресурсной функции, которая состоит в поддержании биоразнообразия и численности сообществ организмов, обитающих в почве или связанных с ней [43]. Биологическое разнообразие почвы играет важнейшую роль в минерализации органических соединений и секвестрации углерода, поддержании циклов биофильных элементов, питания и здоровье растений [51].

По полученным данным, исключение составляет почвенный материал морозобойных трещин, который характеризуется микробиологической активностью на всем протяжении присутствия органического субстрата. Выявлено, что численность бактерий в почвенном материале гумусовых трещин в несколько раз больше таковой по профилю почвы. Следовательно, гумусовые карманы и языки являются биотопами с высокой концентрацией бактериальных клеток в исследуемых почвах. Один из ключевых механизмов обогащения органическим углеродом в минеральных слоях – это криогенный массообмен и мерзлотная ретинизация [21].

В гумусовом кармане буроземов наблюдается увеличение пула бактерий вниз по профилю. В почвенном материале гумусовых карманов численность бактерий колеблется от 0.75 до

1.90 млрд/г. На глубине от 50 до 60 см в гумусовом кармане буроземов отмечается максимальное количество бактерий, достигающее 3.2 млрд/г. В почвенном профиле исследуемых почв количество бактерий уменьшается вниз по профилю. На рис. 5 отображена вариабельность бактериальной микрофлоры.

Сравнивая среднее содержание бактерий в почвенном материале карманов с почвенным профилем на тех же глубинах, можно заключить, что численность бактерий в карманах в 1.5–2.0 раза выше, чем в почвенном профиле, и с глубиной эта разница увеличивается. Определяющими факторами интенсивности развития бактериальной микрофлоры в почве являются увлажнение и наличие органического субстрата.

В почвенном материале карманов обнаруживается высокая плотность бактерий на глубине 50–60 см, что обусловлено большим количеством корней и увеличением органического вещества. Здесь происходит механическое перемещение части бактерий из верхних слоев почвы с фильтрующей влагой и накоплением в надмерзлотном слое. Низкие температуры надмерзлотных горизонтов могут способствовать длительному сохранению жизнеспособности бактерий. В буроземе кислая реакция почвенного раствора и малая доступность элементов питания сдерживают развитие данной группы микроорганизмов.

Например, в буроземах кислых старовозрастных вырубок Западного Кавказа почва имеет среднюю обогатенность бактериями 4.1–4.2 млрд/г, что немного меньше, чем в буроземах Кавказского заповедника – 4.5 млрд/г. Исследования [50] показали, что восстановление леса оказывает минимальное

воздействие на количество бактерий по сравнению с другими показателями. При анализе почвы вырубков возрастом 40–50 и 110–120 лет обнаружено, что количество бактерий не различается, при этом на разных участках наблюдались значительные колебания — от 3.7 до 5.0 млрд/г. Это объясняется значительной неоднородностью лесных почв, обусловленной локальными особенностями растительности и микрорельефом.

В литературе встречаются данные по поведению бактерий в холодных условиях. Авторы [57] проанализировали керн вечной мерзлоты со Шпицбергена с интервалом 3–4 см на глубину 2 м, где по всему керну бактерии доминировали в структуре микробоценоза. Выявлено [48], что численность бактерий в погребенных верхних слоях почвы мерзлотных районов северных широт была такой же высокой, как и в непогребенных. Напротив, численность грибов уменьшалась с глубиной и была значительно ниже в погребенных верхних слоях почвы. Несмотря на то, что вечная мерзлота является экстремальной средой, в Арктике, Антарктике и на больших высотах она является местом обитания активного микробного сообщества [39]. В работе [55] продемонстрировано, что микробные популяции адаптируются и выживают в вечной мерзлоте на протяжении всей хронопоследовательности туннеля Фокса. Таким образом, потепление вечной мерзлоты может привести к тому, что местные микробные сообщества станут более уязвимыми к изменяющемуся климату, тогда как рост микробиоты, использующей более широкий спектр субстратов, может изменить пулы углерода в почве [54, 58]. Выявлено, что длина актиномицетного мицелия имеет более равномерное распределение по глубинам почвы, чем количество бактерий. Длина актиномицетного мицелия колеблется от 50 до 95 м/г в минеральных слоях и от 145 до 230 м/г в почвенном материале гумусовых карманов. Наибольшие значения длины мицелия обнаружены в верхних слоях почвы, далее они постепенно уменьшаются вниз по профилю до минимальных значений.

В почвенном материале карманов отмечена наибольшая длина грибного мицелия в горизонте АУ, достигающая 1100 м/г почвы. Длина грибного мицелия также относительно высока в нижележащих слоях почвенного материала карманов. В профиле почвы на тех же глубинах длина грибного мицелия значительно ниже.

Результаты корреляционного анализа показывают, что содержание органического углерода оказывает существенное влияние на плотность микробных популяций. Мерзлота слабо стимулирует освоение микробоценозом значительной толщи почвенного профиля. Глубина освоения микроорганизмами буроземов ограничена содержанием $C_{орг}$, а характер микробиологического профиля

обусловлен разной мощностью деятельного слоя, уровнем поступления энергетического материала, величиной рН, степенью увлажнения и связанным с ним уровнем аэрации, а также тем, что нижние горизонты по физическим свойствам для них обычно малоблагоприятный субстрат. Авторами [16] получены данные по буроземам о. Кизи (Карелия), показано, что доминирующие популяции микроорганизмов различаются согласно физико-химическим параметрам почв.

Условия окружающей среды между почвенными горизонтами оказывают сильное влияние на дифференциацию микробных ниш. Содержание питательных веществ в почве, температура и влажность преимущественно объясняют изменчивость структур почвенных бактериальных сообществ [41, 46]. Помимо вертикальных изменений в структуре почвы и микробном сообществе, ландшафты вечной мерзлоты неоднородны по латерали [60]. Таким образом, микроорганизмы равномерно распределены по всем слоям почвы в присутствии органического углерода. В почвенном материале гумусовых карманов биомассы микроорганизмов больше, чем в почвенном профиле на тех же глубинах.

Целлюлозолитическая активность буроземов. Другой типичный пример экологической ниши — организмы-целлюлозолитики, которые могут предпочитать глюкозу и другие легкометаболизируемые субстраты, однако вследствие низкой конкурентоспособности вынуждены ограничиваться более трудноутилизуемой целлюлозой [12].

Распределение целлюлозолитической активности по профилю почв показало, что на глубине 40–50 см она имеет слабую интенсивность разложения целлюлозы — 13–16%. В почвенном материале карманов интенсивность разложения целлюлозы выше, чем в гумусово-аккумулятивном горизонте буроземов, что может быть связано с накоплением в них органического вещества в результате криогенного массообмена и нисходящей миграции растворов и перепадов температур.

Темпы минерализации полотна в буроземах низки вследствие жестких условий почвенного климата. В целом, целлюлозолитическая активность в буроземах идет замедленно. Причиной этого являются малая численность, бедный видовой состав и неравномерность развития целлюлозоразрушающих микроорганизмов [24]. Фактором, снижающим скорость минерализации растительных остатков, является присутствие мерзлоты. Интенсивность разложения клетчатки в почвенном профиле буроземов оценивается как слабая, в почвенном материале гумусовых карманов — как средняя.

Оценивая полученные результаты с точки зрения влияния почвенных условий на процесс разложения целлюлозы, можно заключить, что его интенсивность определяется совокупностью

множества экологических факторов. Почвы обогащены органическим веществом, минеральным азотом и целлюлозоразрушающими микроорганизмами, что является надежными показателями напряженности этого процесса в условиях природной среды. Известно, что в суровых климатических условиях на целлюлозолитическую активность почвы сильнее влияет влага, чем температура.

В целом, биологические режимы исследуемых почв происходят в напряженной биоклиматической обстановке. Краткость вегетационного периода, малая глубина прогревания почв, в связи с наличием многолетней мерзлоты, неустойчивый водный режим и специфический состав микробиома, которые медленно разлагают клетчатку, обуславливают низкие темпы разложения органического вещества.

ВЫВОДЫ

1. На элювии рыхлых четвертичных пород в условиях континентального климата на юге Витимского плоскогорья формируются буроземы оподзоленные с укороченным серогумусовым горизонтом и признаками оподзоливания в подгумусовом горизонте.

2. Особенностью морфологического строения буроземов юга Витимского плоскогорья является наличие морозобойных трещин, заполненных гумусированным почвенным материалом, которые достигают до 30–40 см в глубину. Сеть полигонов хорошо прослеживается на поверхности с проникновением окаймляющих трещин до глубины 35–40 см.

3. Буроземы обладают удовлетворительными физическими свойствами. Гранулометрический состав среднесуглинистый. Гумусовые карманы рыхлые по сложению ($0.93\text{--}1.40\text{ г/см}^3$), тогда как почвенный профиль уплотнен ($1.36\text{--}1.52\text{ г/см}^3$). По показателям пористости профиль почвы неоднороден. Почвенный материал из криогенных трещин обладает более высокой общей пористостью, чем почвенный профиль буроземов.

4. В буроземах отмечена высокая степень аккумуляции углерода, где его запасы в верхнем слое 0–30 см составляют 8.9 кг/м^2 . В буроземах с гумусовыми карманами в слое 0–30 см содержится до 14.6 кг/м^2 органического углерода, что свидетельствует о перераспределении и накоплении органического материала криогенного происхождения.

5. Численность бактерий в почвенном материале карманов в 1.5–2.0 раза больше, чем в профиле почвы, с глубиной разница увеличивается. Длина актиномицетного и грибного мицелия максимальна в почвенном материале гумусовых карманов. В почвенном профиле на тех же глубинах показатель значительно меньше. Микроорганизмы

относительно равномерно распределены по всем слоям почвы в присутствии органического углерода. Интенсивность разложения клетчатки имеет такую же картину распределения по профилю, что и длина актиномицетного и грибного мицелия.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена по теме госзадания № 121030100228-4 “Эволюционно-генетические, биогеохимические и продукционные функции почв Байкальского региона как компонента биосферы, оценка их ресурсного потенциала и разработка технологий рационального использования и охраны”, часть экспедиционных работ осуществлена по гранту РФФИ № 10-04-01368-а “Гумус в криогенных трещинах мерзлотных почв”.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов Е.В., Гагарина Э.И. Очерк лесных почв Самарской луки // Самарская Лука. 2007. Т. 16. № 3(21). С. 444–462.
2. Аккумуляция углерода в лесных почвах и сукцессионный статус лесов / Под ред. Лукиной Н.В. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. 232 с.
3. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1975. 488 с.
4. Бадмаев Н.Б., Конюшков Д.Е., Куликов А.И., Лесовая С.Н., Мергелов Н.С., Титова А.А., Турова И.В., Горячкин С.В. Почвы и температурные режимы центральной Бурятии и Восточного Прибайкалья (Путеводитель научных экскурсий V Междунар. Конф. по криопедологии). М.: ИГ РАН, 2009. 54 с.
5. Балсанова Л.Д., Гынинова А.Б., Цыбикдоржиев Ц.Ц., Гочиков Б.-М.Н., Шахматова Е.Ю. Генетические особенности почв бассейна озера Котокельское (Восточное Прибайкалье) // Почвоведение. 2014. № 7. С. 1–9.
6. Буроземообразование псевдооподзоливание в почвах Русской равнины / Отв. ред. Зонна С.В. М.: Наука, 1974. 275 с.
7. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв М.: Агропромиздат, 1986. 415 с.

8. Гагарина Э.И. Опыт изучения выветривания обломков карбонатных пород в почве // Почвоведение. 1968. № 9. С. 150–165.
9. Гагарина Э.И. Литологический фактор почвообразования: на примере Северо-Запада Русской равнины. СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2004. 257 с.
10. Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. Практикум по почвоведению. М.: Агроконсалт, 2002. 280 с.
11. Герасимова М.И., Губин С.В., Шоба С.А. Микроморфология почв природных зон СССР. Пушино, 1992. 200 с.
12. Гуреева М.В., Грабович М.Ю. Экология микроорганизмов. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2021. С. 104–106.
13. Дымов А.А., Жангуров Е.В., Старцев В.В. Почвы северной части Приполярного Урала: морфология, физико-химические свойства, запасы углерода и азота // Почвоведение. 2013. № 5. С. 507–516.
14. Заварзин Г.А., Кудяров В.Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // Вестник РАН. 2006. Т. 76. № 1. С. 14–29.
15. Завьялова Н.Е., Васбиева М.Т., Фомин Д.С. Микробная биомасса, дыхательная активность и азотфиксация в дерново-подзолистой почве Предуралья при различном сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 2020. № 3. С. 372–378.
16. Загуральская Л.М., Морозова Р.М. Микробные комплексы в почвах на шунгитах острова Кизи // Почвоведение. 2002. № 9. С. 1060–1065.
17. Козлова А.А. Разнообразие почв Южного Предбайкалья в условиях палеокриогенного микро рельефа, их трансформация при агропедогенезе: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. Иркутск, 2021. 44 с.
18. Корсунова Ц.Д.-Ц. Углерод микробной биомассы в профиле мерзлотных почв юга Витимского плоскогорья // Научная жизнь. 2023. Т. 18. № 5. С. 741–747. <https://doi.org/10.35679/1991-9476-2023-18-5-741-747>
19. Макеев О.В. Криология почв. М.: Изд-во РАН, 2019. 464 с.
20. Мельничук Н.Л. Геокриологические условия южной части Витимского плато. Геокриологические условия Забайкалья и Предбайкалья. М.: Наука, 1967. 222 с.
21. 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.
22. Мухина Л.И. Витимское плоскогорье (природные условия и районирование). Улан-Удэ: Бур. Книжное изд-во, 1965. 68 с.
23. Наумов В.Д. Почвоведение и география почв. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2023. 344 с.
24. Нимаева С.Ш. Микробиология криоаридных почв (на примере Забайкалья). Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1992. 176 с.
25. Определитель растений Бурятии / Под ред. Аненхонова О.А. Улан-Удэ: Ин-т общ. и эксперим. биологии СО РАН, 2001. 670 с.
26. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 253 с.
27. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т В. В. Докучаева, 2008. 182 с.
28. Полянская Л.М., Гейдебрект В.В., Звягинцев Д.Г. Биомасса грибов в различных типах почв // Почвоведение. 1995. № 5. С. 566–572.
29. Полянская Л.М., Суханова Н.И., Чакмазян К.В., Звягинцев Д.Г. Особенности изменения структуры микробной биомассы почв в условиях залежи // Почвоведение. 2012. № 7. С. 792.
30. Почвенная карта РСФСР масштаб 1 : 2 500000 / Под ред. Фридланда В.М. М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете министров СССР, 1988.
31. Рейнтам Л.Ю. Морфология и регрессия между генетическими горизонтами почв буроземного, псевдоподзолистого и дерново-подзолистого типов // Почвоведение. 1970. № 12. С. 154–169.
32. Рейнтам Л.Ю. Новое о почвах с двучленно-дифференцированным профилем // Почвоведение. 1986. № 3. С. 53–65.
33. Рейнтам Л.Ю., Раукас А.В. Об изменении механического, минералогического и химического состава дерново-подзолистых почв на карбонатной красно-бурой морене // Почвоведение. 1965. № 3. С. 29–38.
34. Смоленцев Б.А., Смоленцева Е.Н. Буроземы Кузнецкого Алатау, их свойства и разнообразие // Вестн. Томск. гос. ун-та. Биология. 2020. № 50. С. 6–27. <https://doi.org/10.17223/19988591/50/1>.
35. Сымпилова Д. П., Бадмаев Н.Б. Почвообразование в ландшафтах тайги и степи Селенгинского среднегорья (Западное Забайкалье) // Почвоведение. 2019. № 2. С. 140–151.
36. Терпелец В.И., Слюсарев В.Н. Агрофизические и агрохимические методы исследования почв. учебно-методическое пособие. Краснодар: КубГАУ, 2016. 65 с.
37. Цыбжитов Ц.Х., Убугунова В.И. Генезис и география таежных почв бассейна озера Байкал. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1992. 237 с.

38. Шханацев А.К., Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Солда-
тов В.П., Федоренко А.Н., Колесников С.И. Биоло-
гическая активность буроземов старовозрастных
вырубок Западного Кавказа // Лесной вестник.
2023. Т. 27. № 4. С. 47–59.
39. Altshuler I., Goordial J., Whyte L.G. Microbial life in
permafrost // Psychrophiles: From Biodiversity to
Biotechnology, 2017. P. 153–179.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-57057-0_8
40. Badmaev N.B., Gyninova A.B., Tsybenov Yu.B. Soil
temperature field and dynamics of freezing-thawing
processes in the south of the Vitim Plateau (Transbai-
kal region) // IOP Conference Series: Earth and En-
vironmental Science. 2021. V. 862. P. 012039.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/862/1/012039>
41. Baker C.C.M., Barker A.J., Douglas T.A., Doherty S.J.,
Barbato R.A. Seasonal variation in near-surface sea-
sonally thawed active layer and permafrost soil micro-
bial communities // Environ. Res. Lett. 2023. V. 18.
P. 055001.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/acc542>
42. Bayranvand M., Akbarinia M., Jouzani G., Gharecha-
hi J., Alberti G. Dynamics of humus forms and soil
characteristics along a forest altitudinal gradient in
Hyrcanian forest // Biogeosciences and Forestry. 2021.
V. 14. P. 26–33.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3832/for3444-013>
43. Bhargava P., Singh A.K., Goel R. Microbes: bioresource
in agriculture and environmental sustainability // Plant-microbe interactions in agro-ecological
perspectives. 2017. P. 361–376.
https://doi.org/10.1007/978-981-10-5813-4_18
44. Dang Ch., Wu Z., Zhang M., Li X., Sun Y., Wu R.,
Zheng Y., Xia Y. Microorganisms as biofilters
to mitigate greenhouse gas emissions from high
altitude permafrost revealed by nanopore based
metagenomics // iMeta. 2022. V. 1. P. 24.
<https://doi.org/10.1002/imt2.24>
45. Driessen P.M., Dudal R. Lecture notes on the major
soils of the world (Wageningen-Leuven) 1989. 295 p.
46. Ernakovich J.G., Barbato R.A., Rich V.I., Schädel C.,
Hewitt R.E., Doherty S.J., Whalen E.D., Abbott B.W.,
Barta J. et al. Microbiome assembly in thawing
permafrost and its feedbacks to climate // Glob.
Chang. Biol. 2022. V. 28. P. 5007–5026.
<https://doi.org/10.1111/gcb.16231>
47. Gerasimova M.I., Konyushkov D.E., Ananko T.V.
Interpretation of Cambisols on the soil map of the
Russian Federation // IOP Conference Series: Earth
and Environmental Science. 2021. V. 862. P. 012006.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/862/1/012006>
48. Gittel A., Bárta J., Kohoutová I., Mikutta R., Owens S.,
Gilbert J., Schnecker J., Wild B., et al. Distinct
microbial communities associated with buried soils in
the Siberian tundra. ISME J. 2014. 8(4). P. 841–953.
<https://doi.org/10.1038/ismej.2013.219>
49. Gyninova A.B., Badmaev N.B., Tsybenov Yu.B.,
Gonchikov B.N., Mangataev A.Ts., Kulikov A.I.,
Sympilova D.P. Soils of the Darkhitui catena in the
southern Vitim Plateau and their micromorphological
features // IOP Conf. Series: Earth and Environmental
Science. 2021. № 862. P. 012068.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/862/1/012068>
50. Huang H., Tian D., Zhou L., Su H., Ma S., Feng Y., Z.
Tang, Zhu J., Ji C., Fang J. Effects of afforestation on
soil microbial diversity and enzyme activity: A meta-
analysis // Geoderma. 2022. V. 423. P. 115961.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115961>
51. Jacoby R., Peukert M., Succurro A., Koprivova A., Ko-
priva S. The role of soil microorganisms in plant mini-
eral nutrition—current knowledge and future direc-
tions // Frontiers in Plant Science. 2017. V. 8. P. 1617.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01617>
52. Kogel-Knabner I., Amelung W. Soil organic matter
in major pedogenic soil groups // Geoderma. 2021.
V. 384. P. 114785.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114785>
53. Kroyan S. The Contemporary State of the Humus Nu-
trition of the Cambisols of Republic of Armenia // Adv.
Biotechnol. Microbiol. 2018. V. 11.
<https://doi.org/10.19080/AIBM.2018.11.555815>
54. Luláková P., Perez-Mon C., Šantrůčková H., Ruethi J.,
Frey B. High-Alpine Permafrost and Active-Layer Soil
Microbiomes Differ in Their Response to Elevated
Temperatures // Front Microbiol. 2019. V. 10. P. 668.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00668>
55. Mackelprang R., Burkert A., Haw M., Mahendrarajah T.,
Conaway C. H., Douglas T. A., Waldrop M.P. Microbial
survival strategies in ancient permafrost: insights from
metagenomics // ISME J. 2017. V. 11. P. 2305–2318.
<https://doi.org/10.1038/ismej.2017.93>
56. Malcheva B., Nustorova M., Zhiyanski M., Yaneva R.,
Abakumov E. Microbial biomass carbon and en-
zymes-degraders of carbohydrates in polar soils from
the area of Livingston Island, Antarctica // Soil Sci.
Annual. 2022. V. 73(2). P. 156042.
<https://doi.org/10.37501/soilsa/156042>
57. Müller O., Bang-Andreasen T., White R. A., Elberling B.,
Taş N., Kneafsey T., Ovreås L. Disentangling the com-
plexity of permafrost soil by using high resolution profil-
ing of microbial community composition, key functions
and respiration rates // Environ. Microbiol. 2018.
<https://doi.org/10.1111/1462-2920.14348>
58. Perez-Mon C., Stierli B., Plötze M., Frey B. Fast and
persistent responses of alpine permafrost microbial
communities to in situ warming // Sci. Total Environ.
2022. V. 807. P. 150720.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150720>
59. Rasulić N., Delić D., Stajković-Srbinić O., Buntić A.,
Kuzmanović Đ., Knežević M., Sikirić B. Microbiologi-
cal and basic agrochemical properties of Eutric Cam-
bisols in western and southwestern Serbia // Zemljiste
i biljka. 2021. V. 70. P. 1–9.
<https://doi.org/10.5937/ZemBilj2102001R>

60. Scheel M., Zervas A., Jacobsen C.S., Christensen T.R. Microbial Community Changes in 26,500-Year-Old Thawing Permafrost // *Front. Microbiol.* 2022. V. 13. P. 787146. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.787146>
61. Schnecker J., Spiegel F., Li Y., Richter A., Sandén T., Spiegel H., Zechmeister-Boltenstern S., Fuchslueger L. Microbial responses to soil cooling might explain increases in microbial biomass in winter // *Biogeochemistry*. 2023. V. 164. P. 521–535. <https://doi.org/10.1007/s10533-023-01050-x>
62. Zaitseva S., Badmaev N., Kozyreva L., Dambaev V., Barkhutova D. Microbial Community in the Permafrost Thaw Gradient in the South of the Vitim Plateau (Buryatia, Russia) // *Microorganisms*. 2022. V. 10. P. 2202. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10112202>
63. Zhou W., Ma T., Yin X., Wu X., Li Q., Rupakheti D., Xiong X., Zhang Q., Mu C., de Foy B., Rupakheti M., Kang Sh., Qin D. Dramatic Carbon Loss in a Permafrost Thaw Slump in the Tibetan Plateau is Dominated by the Loss of Microbial Necromass Carbon // *Environ. Science Technol.* 2023. V. 57. P. 6910–6921. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c07274>

Brown Soils of the South of the Vitim Plateau: Humus Pockets, Morphology, Properties, Microbiome

E. O. Chimitdorzhieva^{1, *}, Ts. D-Ts. Korsunova¹,
Yu. B. Tsybenov¹, and G. D. Chimitdorzhieva¹

¹*Institute of General and Experimental Biology SB of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, 670047 Russia*

^{*}*e-mail: erzhenach@mail.ru*

The purpose of this study was to study the structure of microbial communities, the physicochemical characteristics of the soil profile of brown soils and the soil material of humus pockets. Brown soils (Cambisols), located in the south of the Vitim Plateau, are characterized by a peculiar morphological structure – the presence of frost cracks, which form wedge-shaped humus pockets, sharply tapering down the profile. Humus pockets are filled with dark brown humus material with black stripes that contrast sharply in color and properties with the surrounding soil profile. Compared to the profile of brown soils at corresponding depths, the soil mass from humus pockets is less compacted. An increase in total porosity leads to an increase in water permeability of the humified mass of frost cracks. Features of the structure of microbial cenosis and carbon of microbial biomass of brown soils in the soil profile and in the soil material of pockets were revealed. In the soil material of the pockets, the content of organic carbon and the amount of absorbed bases are distributed relatively evenly, while in the soil profile the indicators sharply decrease down the profile. Experimental data obtained during the study will replenish the database on the properties and state of microbial cenosis in brown soils and in the soil material of humus pockets of brown soils in the south of the Vitim Plateau.

Keywords: organic carbon, humus pockets, microbocenosis, permafrost, Cambisols