

Роль почвенного покрова в сохранении структурной и функциональной целостности северотаежных экосистем Западной Сибири

О. Ю. ГОНЧАРОВА, А. А. БОБРИК, Г. В. МАТЫШАК, М. И. МАКАРОВ

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12
E-mail: goncholga@gmail.com*

Статья поступила 05.03.2015

Принята к печати 01.07.2015

АННОТАЦИЯ

Почвы района исследования функционируют в разных температурных режимах: мерзлотном (торфяно-криозем и торфяная эутрофная деструктивная) и длительно сезонно-промерзающем (подзол), что определяется островным характером залегания многолетнемерзлых пород. Все почвы характеризуются низкими величинами продукции диоксида углерода (в среднем $160 \text{ мг CO}_2/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$), что свидетельствует об их невысокой биологической активности. По величинам коэффициента $C_{\text{мик}} : C_{\text{орг}}$ (0,3–2,0) во всех исследованных почвах диагностируется недостаток легкодоступного для микроорганизмов углерода при общих высоких запасах органического вещества. Величина эмиссии CO_2 и коэффициент $C_{\text{мик}} : C_{\text{орг}}$ являются “сайт-специфическими” для района исследования и могут быть использованы в качестве индикаторов для быстрого распознавания изменений условий окружающей среды. Торфяные криогенные почвы представляют собой уникальный объект природы и обеспечивают функциональное разнообразие и целостность северотаежных экосистем Западной Сибири.

Ключевые слова: биологическая активность почв, ботанический состав торфа, микробный углерод, многолетнемерзлые породы, торфяники, эко-физиологические коэффициенты.

Основным условием сохранения и воспроизводства биоразнообразия объектов живой природы является сохранение разнообразия почв как естественной биокосной среды обитания животных, растений и микроорганизмов. Главным фактором, обеспечивающим сосуществование разных видов, является пространственная неоднородность свойств почв, проявляющаяся в разных масштабах: от почвенных микроагрегатов до сложности почвенного покрова [Добровольский, 1996; Fitter et al., 2005; Bowker et al., 2010].

Перед экологическим почвоведением в настоящее время ставятся такие задачи, как систематизированное исследование отдельных естественных экологических функций почв и экофункций почвенных разностей, выявление и изучение зонально-региональной дифференциации экологических функций почвенного покрова [Дергачева, 2009; Добровольский, Никитин, 2012]. В последние годы появился ряд монографий, в которых с различных точек зрения освещается роль почвы и почвенной биоты в функционировании и поддержа-

нии наземных экосистем, их экологические функции при взаимодействии с природными и антропогенными системами (биосферой, литосферой, гидросферой, атмосферой, антропоферой), анализируется функциональная активность химических, физических, биологических свойств почв в глобальных процессах [Роль..., 2011; Добровольский и др., 2012].

Характерной особенностью Западно-Сибирского региона является большая площадь торфяных болот, которая достигает 42 % от территории России [Вомперский, 1994; Лисс и др., 2001] с содержанием 42,3 млрд т углерода, что составляет 36 % от депонированного углерода России [Ефремов и др., 1994]. Специфичность биосферной функции болот обуславливается незамкнутостью у них цикла круговорота веществ, когда торфяно-болотные экосистемы возвращают в окружающую среду меньше веществ, чем забирают, т. е. преобладает постоянный сток углерода из атмосферы в торфяное болото. На севере Западной Сибири формирование торфяных залежей происходило на фоне наличия многолетней мерзлоты при ограниченных тепловых ресурсах климата. Поэтому торфонакопление здесь происходило очень медленно, а мощность торфа невелика. Образую своеобразный природный ландшафт, торфяники представляют немалую ценность как убежище для многих исчезающих видов растений и животных. Поглощая углерод атмосферы, болота тем самым смягчают парниковый эффект, но они же способны усилить его из-за возрастающей деструкции торфа.

Цель данного исследования – оценка функционального разнообразия почв северотаежных экосистем Западной Сибири на основе таких показателей, как температурный режим почв, особенности строения органофила и состава органического вещества почв, а также их биологической активности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Район исследования расположен на севере Западной Сибири (Надымский р-н, Тюменская обл., ЯНАО; 65°18' с. ш., 72°52' в. д.) в пределах северной границы распространения северной тайги. В целом для района исследования характерны суровые климати-

ческие условия: продолжительный зимний период, низкие среднегодовые температуры воздуха (–5 °С), количество осадков варьирует от 450 до 650 мм в год. Растительность представлена березово-лиственничными и березово-сосновыми кустарничково-лишайниковыми редколесьями. Значительные площади заняты морошково-багульниково-сфагново-лишайниковыми торфяниками, пушицево-осоково-сфагновыми болотами [Москаленко, 1999].

Характерной чертой района является островное распространение многолетнемерзлых пород (ММП). Они имеют прерывистое распространение, отсутствуя с поверхности под островами лесных урочищ и болотами, и приурочены к торфяникам, буграм и грядам пучения.

Ландшафты территории резко контрастируют и четко подразделяются на два основных типа, отличающихся по степени гидроморфизма и наличию многолетнемерзлых пород. Это гидроморфные ландшафты, представленные как собственно олиготрофными болотами, так и специфическими вариантами мерзлых плоскобугристых (1) и крупнобугристых торфяников (2) с расположением многолетнемерзлых пород в пределах 1–2 м и автоморфные залесенные ландшафты без многолетней мерзлоты (3). Именно эти три типа ландшафтов выбраны в качестве объектов исследования.

Плоскобугристый торфяник представлен плоскими крупнокочкватými основными поверхностями торфяников. Он приподнят над общим уровнем верховых болот на 0,5–1,5 м. В напочвенном растительном покрове преобладают различные лишайники и мхи: *Cladonia rangiferina*, *C. stellaris*, *C. sylvatica*, *Sphagnum* sp.; в кустарничковом ярусе *Betula nana*, *Rubus chamaemorus*, *Ledum* sp., *Vaccinium uliginosum*, *V. myrtillus*; для травяного яруса наиболее характерны представители семейства Cyperaceae – *Eriophorum* sp., *Carex* sp. Мерзлота в среднем вскрывается на 80 см. Почва классифицирована как торфяно-криозем потечно-гумусовый [Классификация..., 2004].

Крупнобугристый торфяник представляет собой мелкобугорковатую поверхность гряды из приподнятых над уровнем болота на 3–

4 м бугров. Для него характерны обширные оголенные пятна торфа, растрескивание и относительное иссушение поверхностных торфяных горизонтов, а также разреженная растительность: на кочках *Ledum* sp., *Betula nana*, в понижениях – *Cladonia* sp.; мерзлота в среднем на 60 см в слое торфа. Торфяник, предположительно, находится в стадии разрушения. Почва классифицирована как торфяная эутрофная деструктивная.

Лесной участок представлен кочковато-западинным сосняком лишайниковым. Преобладающими видами являются *Pinus sibirica*, *Larix sibirica*, *Betula* sp. в верхнем ярусе, в среднем – представители семейства Ericaceae, а именно *Vaccinium uliginosum*, *V. myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *Ledum* sp.; *Polytrichum strictum*, *Cladonia rangiferina*, *Sphagnum* sp. – в нижнем. Мерзлота в почвенном профиле не выявлена. Почва классифицирована как подзол глееватый.

Полевые методы исследования. Режимные наблюдения за эмиссией углекислого газа с поверхности почвы (с удалением растительности) проводились методом закрытых камер [Смагин, 2005] в пятикратной повторности на 10 площадках в каждом из биогеоценозов в августе 2010, 2011, 2013 гг. Камера представляет собой цилиндр из нержавеющей стали высотой 15 и диаметром 10 см. Ее врезают в почву на глубину 1–2 см и выдерживают в течение 20 мин, отбирая пробы воздуха из изолированного объема надпочвенной атмосферы сразу после установки камеры и по истечению времени. Для отбора проб в стальных камерах имеются отверстия, закрытые резиновыми пробками. Измерение концентрации CO₂ осуществлялось на портативном газоанализаторе RMT DX6210 с инфракрасным датчиком.

Режимные годовые температурные исследования (август 2011 г. – июль 2012 г.) включали измерение температуры воздуха на высоте 1,5 м, поверхности почвы, а также почвы на глубинах 20, 40, 60 см с интервалом 4 ч с помощью программируемых микро-термодатчиков Thermochron iButton™ [Смагин, 2005].

Лабораторные методы исследования. Ботанический анализ торфа выполнен по ГОСТ 28245-89 [1989]. Идентификация расти-

тельных остатков, образующих торф, а также видовое определение сфагновых и гипновых мхов осуществлялось при помощи атласов и определителей [Домбровская и др., 1959; Кац и др., 1977].

Определение лабильного (водорастворимого) углерода и углерода микробной биомассы производилось методом фумигации-экстракции. Компоненты микробных клеток, погибших в результате обработки почвы парами хлороформа, экстрагируют раствором соли. По разности концентраций углерода, экстрагируемого из фумигированных и контрольных образцов, находят С микробной биомассы [Brookes et al., 1985]. Содержание лабильного углерода определено в нефумигированных, контрольных образцах. В качестве экстрагента использовался раствор K₂SO₄ в концентрации 0,05 М. В настоящей работе проводили фумигацию образцов почвы при естественной влажности парами хлороформа, стабилизированного амиленом, без этанола в течение суток. Определение содержания С в растворах проводили на экспресс-анализаторе TOC-VCPN (Shimadzu). Для расчетов применялся поправочный коэффициент 0,45, учитывающий неполноту экстракции углерода из почв.

Определение общего углерода и азота выполнено на анализаторе Vario EL III (Elementar).

Полученные аналитические данные обрабатывались в программах Statistica 6.0 и Excel 2007.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Температурный режим почв. Почвы изученных ландшафтов, несмотря на близкое расположение, функционируют в различных температурных режимах. Ход среднегодовых температур почв по профилю (рис. 1) значительно различается для трех ландшафтов. Самый “теплый” профиль характерен для подзола лесного участка – среднегодовые температуры на всех глубинах положительные и слабо изменяются: от 2,9 °С на поверхности до 1,9 °С на глубине 60 см. Величины среднегодовых температур профиля почв торфяников положительные в верхней части профиля. Ниже 20 см среднегодовые тем-

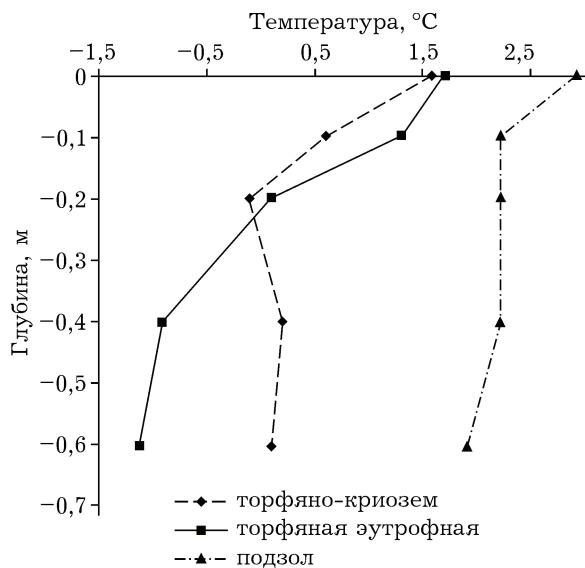


Рис. 1. Среднегодовые температуры почв для периода август 2011 г. – июль 2012 г.

пературы торфяной деструктивной почвы отрицательные (до $-1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 60 см), а торфяно-криозема близки к $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ вплоть до глубины 60 см. Криогенные почвы (почвы, развивающиеся на многолетнемерзлых породах) в годовом цикле на глубине 20 см характеризуются существенно более низкими среднемесячными температурами по сравнению с некриогенными, особенно сильно данные различия проявляются с января по март.

Важным показателем температурного режима почв является глубина проникновения температур больше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (табл. 1). Она заметно возрастает в ряду торфяно-криозем – торфяная деструктивная – подзол. Продол-

жительность периода с отрицательными температурами на глубине 20 см в два с лишним раза выше у криогенных почв, чем у подзола.

Согласно В. Н. Димо [1972], температурные режимы почв изученных ландшафтов относятся к двум типам: мерзлотному (очень холодный подтип, торфяно-криозем и торфяная эвтрофная деструктивная) и длительно сезонно-промерзающему (холодный подтип, подзол).

Информативными, с нашей точки зрения [Гончарова и др., 2015], для почв региона являются такие годовые показатели, как: 1) суммы положительных температур для глубин 10 и 20 см, 2) максимальная глубина проникновения температур выше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 3) количество дней с температурами ниже (или выше) $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ на глубине 20 см. По первому и второму показателям контрастно различаются все почвы, по третьему – почвы с наличием мерзлоты в профиле и без нее. Так, наименьшей глубиной проникновения “активных” температур характеризуется торфяно-криозем – около 10 см. Криогенные почвы на глубине 20 см находятся в мерзлом состоянии более 7 месяцев в году, подзол – чуть больше 3.

В ходе исследования температурных режимов почв различных экосистем также выявлено, что современные верхние подстилочно-торфяные горизонты подзола и торфяно-криозема характеризуются крайне низкими величинами температуропроводности по сравнению с минеральными горизонтами, а

Т а б л и ц а 1

Показатели температурного режима почв (2011–2012 гг.)

Среднегодовая температура почвы	Температура самого теплого месяца	Температура самого холодного месяца	Годовая амплитуда температур	Продолжительность периода с температурой $<0\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 20 см	Максимальная глубина проникновения температур $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$, см
на 20 см, $^{\circ}\text{C}$					
Торфяно-криозем плоскобугристого торфяника					
-0,1	6,2	-4,8	11,0	220	10
Торфяная эвтрофная деструктивная крупнобугристого торфяника					
-0,3	9,3	-6,7	16,0/10,8	215	20
Подзол лесного участка					
2,2	9,6	-1,2	10,8	100	40

также торфяными деструктивными горизонтами. Наличие современного подстилочно-торфяного горизонта обуславливает слабоконтрастный годовой температурный режим почв и их температурную буферность.

Состав и свойства торфяных горизонтов.

Основными показателями, используемыми для характеристики торфов, являются: вид торфа, состав растений-торфообразователей, степень разложения, зольность, кислотность, биологическая активность и содержание элементов минерального питания [Пьявченко, Корнилова, 1978]. По этим показателям органопродулы исследованных почв существенно различаются.

Профиль почвы плоскобугристого торфяника состоит из 2–3 торфяных горизонтов и нижележащих минеральных (CR). Для горизонта T1 характерна зольность около 11 %, степень разложения около 50 % и преобладание в торфе остатков корешков кустарничков семейства Ericaceae, в частности *Ledum palustre* L., *Andromeda polifolia* L., *Vaccinium uliginosum* L. Реакция почвенной среды кислая (pH 4,1). Для нижележащего торфяного горизонта T2 характерна степень разложения около 55 %, значение pH 4,7 и преобладание остатков *Sphagnum* sp. и корешков кустарничков семейства Ericaceae (*Andromeda polifolia* L., *Vaccinium uliginosum* L.). Торф всех горизонтов относится к верховому типу. Реакция среды в минеральных горизонтах кислая (pH 4,8).

Профиль почвы крупнобугристого торфяника состоит из 3–4 торфяных горизонтов. Для верхнего горизонта T1 характерна зольность 4,6 %, степень разложения около 60 % и наличие остатков корешков кустарничков семейства Ericaceae, в частности *Oxycoccus quadripetatus*, *Eriopharum vaginatum* L.; при преобладании *Betula nana* L. Реакция почвенной среды кислая (pH 4,1). Совокупность показателей говорит о том, что торф относится к верховому березовому типу. Для нижележащего горизонта T2 характерна зольность 4,1 %, степень разложения около 50 %, значение pH 4,4; наличие кусков неразложившейся коры березы (*Betula* sp.), а также остатков корешков кустарничков семейства Ericaceae, в частности *Vaccinium uliginosum* L., *V. vitis-idaea*; *Carex* sp. Для торфа горизонта T3 характерна зольность 4,3 %, степень разло-

жения около 45 %; наличие остатков *Equisetum palustre* L.; *Comarum palustre* L.; *Betula pubescens* Ehrh., *Carex* sp., в том числе *Carex lasiocarpa* Ehrh. Реакция почвенной среды кислая (pH 4,5). Преобладание остатков растений низинных болот в торфе горизонта T3 определяет его тип как низинный.

Органопродулы подзола лесного участка состоит из оторфованной подстилки (O), которая характеризуется мощностью около 10–12 см и зольностью около 11 %. Под подстилкой залегает серия минеральных горизонтов: фрагментарно выраженный осветленный подзолистый горизонт (E), супесчаный альфегумусовый горизонт (ВНФ), который постепенно переходит в песчаную породу. Почва кислая по всему профилю: значение pH меняется от 3,4 в подстилке до 4,5 в минеральной толще.

Общий и лабильный углерод. При оценке экологической и биохимической роли торфяных отложений особое значение приобретает их химический состав, с которым тесно связана устойчивость или податливость торфов к биохимической минерализации. Различия, установленные при ботаническом описании торфяных горизонтов почв разных ландшафтов, проявляются и в содержании общего и лабильного (водорастворимого) углерода.

Содержание общего углерода в органогенной толще всех исследованных почв составляет в среднем 40–50 %. При этом содержание его лабильной водорастворимой части сильно варьирует по биогеоценозам (1,5 до 4,5 мг/г почвы). Почва крупнобугристого торфяника характеризуется высоким содержанием общего углерода при низком содержании его лабильной водорастворимой фракции (табл. 2). Все торфяные горизонты торфяника этого типа характеризуются повышенным содержанием общего азота. Высокое содержание общего углерода и азота, низкое содержание лабильных фракций углерода, низкая зольность торфа почвы крупнобугристого торфяника указывают на высокую степень его минерализации.

Для подзола характерны высокие значения как общего углерода, так и водорастворимого в подстилочно-торфяном горизонте. Для торфяно-криозема характерны средние значения величин как общего углерода, так

Т а б л и ц а 2

Содержание общего углерода, азота, лабильного углерода и углерода микробной биомассы

Горизонт (мощность, см)	Уровень ММП, см	C _{общ} , %	C _{H₂O} , % от C _{общ}	C _{H₂O} , мг/г почвы	мгC _{мик} /г почвы	N _{общ} , %	Запасы C, т/га (0–40 см)
Торфяно-криозем плоскобугристого торфяника							
O (0–10)	80	41,44	0,58	2,4	8,39	0,98	80
T1 (10–30)		40,78	1,13	4,6	4,53	0,34	
T2 (30–38)		45,04	0,24	1,1	3,91	0,89	
T3 (38–45)		12,64	1,50	1,9	0,27	0,32	
CR(45–80)		0,30	3,33	0, 1	0,01	не опр.	
Торфяная эуτροφная деструктивная крупнобугристого торфяника							
T1 (0–15)	60	49,91	0,38	1,9	1,59	2,29	580
T2 (15–40)		50,99	0,35	1,8	0,77	1,95	
T3 (40–55)		45,89	0,46	2,1	0,28	2,09	
Подзол лесного участка							
O (0–5)	–	46,21	0,74	3,4	10,14	1,49	38
T (5–11)		46,15	0,33	1,5	6,18	1,01	
E (11–15)		0,27	3,70	0,1	0,08	не опр.	
VHF (15–28)		0,10	10,00	0,1	0,03	не опр.	
BC (28–70)		0,41	12,20	0,5	0,02	не опр.	

и водорастворимого. Заметим, что минеральные горизонты торфяно-криозема и подзола характеризуются повышенной долей лабильного углерода, что связано с его элювированием вниз по профилю.

Биологическая активность почв. Экофизиологические функции почв. Разложение и трансформация органических остатков – одна из основных функций почвенных микроорганизмов [Звягинцев и др., 2005; Ananyeva et al., 2008]. В связи с этим почвенные микробные сообщества играют важнейшую роль в таких экосистемных процессах, как круговорот углерода и биофильных элементов, а также в производстве малых (парниковых) газов.

Несмотря на то, что почвы являются величайшим хранилищем биоразнообразия на Земле и что большинство функций наземных экосистем связаны с почвой, исследования роли биоразнообразия почвы в функционировании экосистем отстали от соответствующих исследований наземных организмов [Bowker et al., 2010]. Спрос на быстрые и воспроизводимые показатели качества почвы увеличился за последнее десятилетие. По-

скольку функционирование почвы в значительной степени определяется деятельностью микрофлоры, велика потребность в показателях, основанных на деятельности микроорганизмов. Исследование биоразнообразия почвенных организмов сопряжено с рядом трудностей: часто их сложно идентифицировать, еще сложнее определить их функциональную роль в почвенных экосистемах, не всегда легко оценить их биоразнообразие, и также нелегко культивировать большинство организмов для использования в манипулятивных экспериментах. В связи с этим актуальным становится возможность использования экофизиологических показателей для создания экологического профиля почвы [Anderson, 2003]. Экофизиологические коэффициенты позволяют количественно оценить функции пула почвенных микроорганизмов (вне зависимости от их количества и состава). Авторы считают, что эти коэффициенты имеют большой и пока нереализованный потенциал для улучшения понимания развития и функционирования микробных сообществ в экосистеме. Мы попытались оценить экофизиологические функции почв различных био-

геоценозов с помощью таких показателей, как эмиссия CO_2 , содержание углерода микробной биомассы и коэффициент $C_{\text{мик}} : C_{\text{орг}}$ (%).

Эмиссия диоксида углерода. Одна из глобальных экологических функций почвы – регуляция газового режима экосистемы, поскольку в почвах осуществляются процессы аккумуляции и разложения органических веществ, замыкаются природные круговороты газов [Смагин, 2005]. Основная масса углерода, связанного в органическом веществе почвы, освобождается в аэробных условиях гетеротрофными организмами, образующими главный поток CO_2 . Выделение углекислого газа почвой (почвенное дыхание) является важным интегральным показателем биологической активности почв и характеризует, с одной стороны, совокупный метаболизм почвенных животных, микроорганизмов и подземных органов растений, а с другой, отражает особенности физических и физико-химических процессов в толще органоминерального субстрата [Смагин, 2005; Наумов, 2009].

В ходе исследований установлено, что эмиссия диоксида углерода почвами исследованных биогеоценозов невысока и составляет в среднем для всех объектов $160 \text{ мг CO}_2/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, что свидетельствует о низкой биологической активности всех изученных почв, несмотря на то, что исследования проводились в пик вегетационного сезона. Максимальные величины эмиссии углекислого газа ($269 \pm$

$21 \text{ мг CO}_2/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$) наблюдаются в лесном биогеоценозе. Для почв крупнобугристого торфяника характерны очень низкие величины эмиссии ($76 \pm 10 \text{ мг CO}_2/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$) (рис. 2). На плоскобугристом торфянике эмиссия относительно выше ($132 \pm 13 \text{ мг CO}_2/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$) [Гончарова и др., 2014]. Высокие значения величины стандартного отклонения объясняются, с одной стороны, высокой вариабельностью показателя по объектам и годам, а с другой, тем, что расчеты проводились с учетом суточной динамики. Важно отметить, что по результатам статистической обработки объекты достоверно отличаются по величине эмиссии углекислого газа.

Углерод микробной биомассы, коэффициент $C_{\text{мик}} : C_{\text{орг}}$ (%). Наибольшим содержанием углерода микробной биомассы характеризуется подстилка подзола и очес торфянокриозема ($8\text{--}10 \text{ мг } C_{\text{мик}}/\text{г}$ почвы) (см. табл. 2). Торфяные горизонты торфяно-криозема также характеризуются высоким содержанием углерода микробной биомассы (около $4 \text{ мг } C_{\text{мик}}/\text{г}$ почвы). Все торфяные горизонты крупнобугристого торфяника характеризуются низкими (в несколько раз) по сравнению с органогенными горизонтами других исследованных почв содержанием C микробной биомассы ($0,3\text{--}1,5 \text{ мг } C_{\text{мик}}/\text{г}$ почвы). Для всех почв наблюдается снижение этой величины вниз по профилю. Данные по содержанию углерода микробной биомассы сопоставимы с

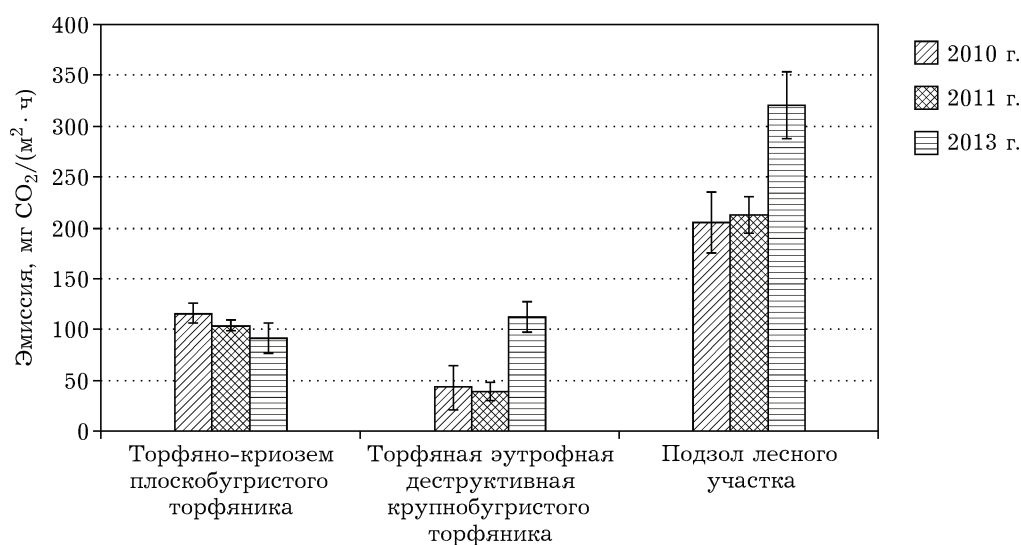


Рис. 2. Эмиссия углекислого газа с поверхности почв ключевых участков, август 2010, 2011, 2013 гг. I – доверительный интервал

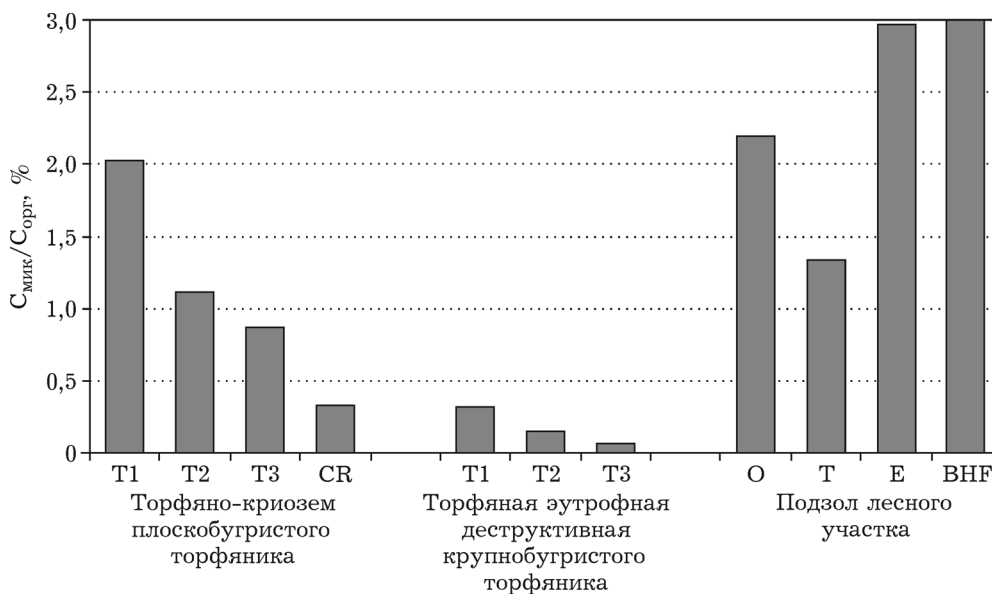


Рис. 3. Отношение углерода микробной биомассы к общему органическому углероду в почвах ключевых участков

такowymi для органогенных горизонтов тундровых почв [Cheng et al., 1998; Kate, Jefferies, 2013; Potila, Sarjala, 2004], и являются высокими по сравнению с почвами других регионов.

Величина коэффициента $C_{\text{мик}} : C_{\text{орг}}$ является удобным показателем доступности углерода для почвенных микроорганизмов [Anderson, Domsch, 1993; Sparling, 1997], а также используется для сравнения почв с различным содержанием общего углерода, что особенно актуально для органогенных почв. Наиболее высокие величины коэффициента $C_{\text{мик}} : C_{\text{орг}}$ характерны для современных горизонтов подстилки и очеса (подзол и торфяно-криозем) – около 2 % (рис. 3). Для торфяных горизонтов торфяно-криозема эта величина колеблется около 1 %. Низкие величины (0,1–0,3 %) характерны для торфяных горизонтов торфяной эутрофной деструктивной почвы. При сравнении с немногочисленными литературными данными можно констатировать, что величины приведенного коэффициента низкие, а для торфяной деструктивной почвы – крайне низкие, что свидетельствует о низком содержании легкодоступного для микроорганизмов субстрата. Отмечено увеличение величины $C_{\text{мик}} : C_{\text{орг}}$ в минеральных горизонтах подзола.

Исследования показали, что по величинам эмиссии диоксида углерода и коэффици-

циенту $C_{\text{мик}} : C_{\text{орг}}$ почвы изученных ландшафтов существенно различаются, т. е. данные показатели являются “сайт-специфическими” для почв района исследования и могут быть использованы в качестве индикатора для быстрого распознавания изменений условий окружающей среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования свойств почв и режимов их функционирования позволяют констатировать, что небольшая по площади территория исследования представляет собой уникальный комплекс ландшафтов и почв. Почвы лесных экосистем – подзолы – характеризуются сравнительно малыми запасами органического углерода, но их существенно большая теплообеспеченность и оптимальная влажность, связанные с отсутствием современных многолетнемерзлых пород, обеспечивают высокую биологическую активность. Органическое вещество подзолов характеризуется высоким содержанием лабильных, легкодоступных форм органического вещества, максимальным содержанием углерода микробной биомассы, высокими скоростями деструкции, выражающимися в интенсивной эмиссии диоксида углерода. Почвы торфяников, находящиеся под влиянием близлежащих многолетнемерзлых пород, разли-

чаются по всем показателям как с почвами лесных ландшафтов, так и между собой. Торфяно-криоземы, локализованные на плоскостных торфяниках, имеют средние запасы органического углерода в 20–40 см толще современного верхового торфа, характеризуются крайне низкой теплообеспеченностью верхней деятельной толщи. В связи с этим почвы характеризуются низкой биологической активностью, даже при относительно высоком содержании лабильных форм органического углерода и углерода микробной биомассы. Почвы крупнобугристого торфяника характеризуются максимальным запасом органического углерода в торфяной толще неоднородного состава (верховой и низинный торф). Повышенное содержание общего углерода и азота, низкое содержание лабильных форм углерода и углерода микробной биомассы свидетельствуют о выраженной деградации торфа и дефиците свежего органического вещества. Об этом также свидетельствует крайне низкая эмиссия диоксида углерода.

Определяющим фактором, оказывающим наибольшее влияние на величины биологической активности почв и биоразнообразие экосистем района исследования, является наличие и близость залегающие многолетнемерзлых пород, так как именно мерзлота определяет тип биогеоценоза, температурный режим, а следовательно, и процессы трансформации органического вещества в подобных переходных ландшафтах.

Торфяные криогенные почвы, являясь хранилищем значительного количества органического вещества, представляют собой ценный объект исследования, чутко реагирующий на изменение климата, обеспечивающий функциональное разнообразие и целостность северотаежных экосистем Западной Сибири.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 13-04-01577-а).

ЛИТЕРАТУРА

- Вомперский С. Э. Роль болот в круговороте углерода // Биогеоценотические особенности болот и их рациональное использование. М.: Наука. 1994. С. 5–37.
- Гончарова О. Ю., Матышак Г. В., Бобрик А. А., Москаленко Н. Г. Продуцирование диоксида углерода почвами северной тайги Западной Сибири // Криосфера Земли. 2014. № 2. С. 66–71.
- Гончарова О. Ю., Матышак Г. В., Бобрик А. А., Москаленко Н. Г., Пономарева О. Е. Температурные режимы северотаежных почв Западной Сибири в условиях островного распространения многолетнемерзлых пород // Почвоведение. 2015. № 12. С. 1462–1473.
- ГОСТ 28245-89. ТОРФ. Методы определения ботанического состава и степени разложения. М., 1989. 9 с. (Государственный комитет по стандартам).
- Дергачева М. И. Экология почв: становление новой науки биосферного класса // Сиб. экол. журн. 2009. Т. 16, № 2. С. 143–150.
- Димо В. Н. Тепловой режим почв СССР. М.: Колос, 1972. 360 с.
- Добровольский Г. В. Значение почв в сохранении биоразнообразия // Почвоведение. 1996. № 6. С. 694–698.
- Добровольский Г. В., Никитин Е. Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв: учебник / 2-е изд., уточн. и доп. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2012. 412 с.
- Домбровская А. В., Коренева М. М., Тюремнов С. Н. Атлас растительных остатков, встречаемых в торфе. М.; Л., 1959. 90 с.
- Ефремов С. П., Ефремова Т. Т., Мелентьева Н. В. Запасы углерода в экосистемах болот // Углерод в экосистемах лесов и болот России / под ред. В. А. Алексеева, Р. А. Бердси. Красноярск, 1994. С. 128–139.
- Звягинцев Д. Г., Бабьева И. П., Зенова Г. М. Биология почв: учебник. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 440 с.
- Кац Н. Я., Кац С. В., Скобеева Е. И. Атлас растительных остатков в торфах. М., 1977. 371 с.
- Классификация и диагностика почв России / авт. и сост.: Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Лисс О. Л., Абрамова Л. И., Аветов Н. А., Березина Н. А., Инишева Л. И., Курнишкова Т. В., Слука З. А., Толпышева Т. Ю., Шведчикова Н. К. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / под ред. В. Б. Куваева. Тула: Гриф и К°, 2001. 584 с.
- Москаленко Н. Г. Антропогенная динамика растительности равнин криолитозоны России. Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 1999. 280 с.
- Наумов А. В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 208 с.
- Добровольский Г. В., Куст Г. С., Чернов И. Ю., Добровольская Т. Г., Лысак Л. В. и др. Почвы в биосфере и жизни человека. М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012. 584 с.
- Пьявченко Н. И., Корнилова Л. И. О диагностических показателях типов торфа // Почвоведение. 1978. № 10. С. 146–153.
- Роль почвы в формировании и сохранении биологического разнообразия / под ред. Г. В. Добровольского, И. Ю. Чернова. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2011. 273 с.
- Смагин А. В. Газовая фаза почв. М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 2005. 301 с.
- Ananyeva N., Susyan E., Chernova O., Wirth S. Microbial respiration activities of soils from different climatic regions of European Russia // Europ. Journ. Soil Biol. 2008. Vol. 44. P. 147–157.
- Anderson T.-H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2003. Vol. 98. P. 285–293.

- Anderson T.-H., Domsch K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions such as pH, on the microbial biomass of forest soils // *Soil Biol. Biochem.* 1993. Vol. 25. P. 393–395.
- Bowker M. A., Maestre F. T., Escobar C. Biological crusts as a model system for examining the biodiversity-ecosystem function relationship in soils// *Ibid.* 2010. Vol. 42. P. 405–417.
- Brookes P. C., Landman A., Pruden G., Jenkinson D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil // *Ibid.* 1985. N 17. P. 837–842.
- Cheng W., Virginia R. A., Oberbauer S. F., Tenhunen J. D., Gillespie C. T., Reynolds J. F. Soil nitrogen, microbial biomass and respiration along an arctic toposequence // *Soil Sci. Soc. Am. Journ.* 1998. Vol. 62. P. 654–662.
- Kate E. A., Jefferies R. L. Inter-annual and seasonal dynamics of soil microbial biomass and nutrients in wet and dry low-Arctic sedge meadows // *Soil Biol. Biochem.* 2013. Vol. 57. P. 83–90.
- Fitter A. H., Gilligan C. A., Hollingworth K., Kleczkowski A., Twyman R. M., Pitchford J. W. Biodiversity and ecosystem function in soil // *Functional Ecol.* 2005. Vol. 19. P. 369–377.
- Potila H., Sarjala T. Seasonal fluctuation in microbial biomass and activity along a natural nitrogen gradient in a drained peatland // *Soil Biol. Biochem.* 2004. Vol. 36(7). P. 1047–1055.
- Sparling G. P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health // *Biological Indicators of Soil Health* / eds. C. Pankhurst, B. M. Doube, V. V. S. R. Gupta. Wallingford, UK: CAB International, 1997. P. 97–119.

The Role of Soil Cover in Maintaining the Structural and Functional Integrity of Northern Taiga Ecosystems of West Siberia

O. Yu. GONCHAROVA, A. A. BOBRIK, G. V. MATYSHAK, M. I. MAKAROV

*M. V. Lomonosov Moscow State University
119991, Moscow, Leninskie gory, 1
E-mail: goncholgaj@gmail.com*

The soils of the study area function in different temperature regimes: under the influence of permafrost (turbic histic cryosol and cryic eutric histosol) and long-term seasonal freezing (Albic Podsol). Sporadic permafrost defines the differences in temperature regimes. All soils were characterized by low values of carbon dioxide effluxes (an average of 160 mgCO₂/(m²h)) indicating their low biological activity. The lack of easily accessible carbon for microorganisms was detected in all investigated soils by the C_{mic} : C_{org} ratio despite the high stocks of organic matter. The value of CO₂ emission and the C_{mic} : C_{org} ratio were “site-specific” for the region of investigation and may be used as indicators of environmental changes. Peat cryogenic soils represent a unique natural object and provide functional diversity and integrity of northern taiga ecosystems of West Siberia.

Key words: soil biological activity, botanical composition of peat, microbial carbon, permafrost, peatlands, eco-physiological coefficients.