

УДК 630*114.28

ПОСТУПЛЕНИЕ РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВУ ЛИСТВЕННИЧНИКОВ В УСЛОВИЯХ СПЛОШНОЙ МЕРЗЛОТЫ СРЕДНЕЙ СИБИРИ*

© 2005 г. А. С. Прокушкин, И. В. Гавриленко, С. Г. Прокушкин, А. П. Абаимов

*Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН
660036 Красноярск, Академгородок
Поступила в редакцию 15.07.2004 г.*

В работе приводятся результаты анализа влияния гидротермических условий на экспорт растворенного органического углерода (РОУ) в почву в лиственничных насаждениях в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов. Сравнение склонов разных экспозиций и заболоченных местообитаний, характеризующихся контрастными гидротермическими условиями, позволило выявить закономерности образования и миграции РОУ из органогенных горизонтов почв. Проведена количественная оценка внутри- и межсезонной вариабельности потоков РОУ.

Лиственничники, многолетняя мерзлота, растворенный органический углерод, гидротермические условия.

Растворенный органический углерод (РОУ), формально рассматриваемый как смесь органических молекул разной природы размером менее 0.45 мкм, играет важную роль в функционировании наземных экосистем [28]. В частности, показано его значение для формирования химического состава почв и их генезиса [4], миграции питательных элементов и металлов [22], контролирования продуктивности водных экосистем - конечных водоемов стока [2], а также как субстрата для почвенной микрофлоры и высших растений [23].

Основным источником образования РОУ в лесных экосистемах бореальной зоны служит органическое вещество, накапливаемое на поверхности почвы - в подстилке [18, 20]. Осадки и смывы с крон формируют менее значимые потоки РОУ, изменяющиеся при прохождении через органогенные горизонты почв [22]. В свою очередь в органогенных горизонтах почв образование, деструкция и транспорт РОУ зависят от типов растительности, гидротермических условий и гранулометрического состава почвы [14, 24].

В настоящее время имеются лишь фрагментарные сведения об образовании РОУ в наземных экосистемах [10, 12] и его транспорте в арктические моря крупными реками [2]. Факторы же, контролирующие процессы мобилизации РОУ в условиях мерзлотных почв, харак-

терных для обширных пространств Сибири, изучены явно недостаточно.

В данной работе представлены результаты исследований потоков РОУ в лиственничных экосистемах Центральной Эвенкии - зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты. Целью работы послужила оценка влияния гидротермических условий на поступление растворенного органического углерода в почву.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Стационарные наблюдения выполнялись в 1998-2002 гг. в Центральной Эвенкии на экспериментальном водосборе ручья Кулингданан (64° 15' N, 100° 13' E), левого притока р. Кочечум. В его границах выбраны три типичных участка: на склоне северной (ППС) и южной (ППЮ) экспозиций, на надпойменной террасе (ППТ). Описание пробных площадей приведено в табл. 1.

На пробных площадях размером 10 × 10 м через каждый метр проводились измерения глубины деятельного горизонта почвы и описание характера микрорельефа. Измерение динамики глубины деятельного горизонта проводилось еженедельно в течение июня и однократно в конце вегетационного сезона - 15 сентября, чтобы оценить его максимальное значение [7]. Глубина деятельного горизонта измерялась стальным шупом длиной 1 м и диаметром 1 см. В пределах пробных площадей на высоте 1.3 м и на поверхности минеральной почвы устанавливались записыва-

* Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Красноярского краевого фонда науки (11F0074M), РФФИ (03-04-48037) и Лаврентьевского конкурса научных проектов молодых ученых СО РАН.

Таблица 1. Характеристика пробных площадей

Положение в рельефе, тип леса	Древостой					Тип почв**	Запас $C_{орг}$, г С м ⁻²
	состав	возраст, лет	средняя		проектив- ное покры- тие, %		
			H, м	D _{1.3} , см			
Южный склон, лиственничник кустарничково-зеленомошный (ППЮ)	10 Лц	83-100*	12.1	9.2	0.60	Криозем гомогенный	$\frac{115}{1038}$
Северный склон, лиственничник багульниково-зеленомошный (ППС)	10 Лц	85-99*	7.9	7.8	0.6	То же	$\frac{232}{1325}$
Надпойменная терраса, лиственничник кустарничково-сфагновый (ППТ)	10 Лц	93-99*	4.0	4.2	0.2	"	$\frac{730}{5617}$

* Преобладает генерация лиственницы после пожара 1902 г.

** Типы почв приведены по данным Ю.И. Ершова [5].

Примечание. В числителе - запас $C_{орг}$ в моховом покрове, в знаменателе - в подстилке.

вающие датчики температуры (TR-51A, T&D Co., Япония). Водный потенциал (кПа) верхнего 5-сантиметрового горизонта почвы измерялся тензиометром (DIK-3151, Daiki, Cor., Япония).

Запасы биомассы в живом напочвенном покрове и подстилке оценивались на 7 учетных площадях (20 × 20 см), расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга по трансекте из одного угла пробной площади в другой. Собранные образцы доводились до абсолютно сухого состояния при 105°C. Содержание органического углерода было определено с помощью анализатора Vario EL (Elementar Analysensysteme GmbH, Германия) в Институте биогеохимии Макса Планка (г. Йена). Для изучения потоков РОУ в пределах каждой пробной площади были установлены по 5 лизиметрических колонок, принцип устройства которых описан в работе Д. Хонгве с соавт. [18]. В июне, конце августа и сентябре сбор лизиметрических вод осуществлялся еженедельно. Потоки РОУ в июле и частично августе определялись в объединенных образцах. Годовой вынос оценивался с помощью установленных контейнеров с активированным углем марки БАУ. Экстракция адсорбированного на угле $C_{орг}$ проводилась по схеме, предложенной ранее [6] и модифицированной нами применительно к конкретным условиям [25].

Концентрация органического углерода в образцах лизиметрических вод определялась при мокром сжигании с колориметрическим определением Cr^{3+} . В качестве стандартного раствора $C_{орг}$ использовалась сахароза [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В течение вегетационного периода экспорт РОУ из органогенных горизонтов зеленомошных ассоциаций в почву на северном и южном склонах варьировал в широких пределах - от 0.04 до

0.44 г С м⁻² сут⁻¹ (табл. 2). Наиболее интенсивный поток РОУ в почву зафиксирован в осенний период. Данный факт, вероятно, указывает на наиболее оптимальные условия формирования подвижного органического вещества - максимальную микробиологическую активность при относительно высоких температурах (максимальное оттаивание мерзлоты) и достаточной влажности почвы в результате значительного поступления на поверхность живого напочвенного покрова жидких осадков в этот период. Более высокие значения потока РОУ из подстилки в минеральные горизонты почвы в раннелетний период по сравнению с серединой вегетационного периода объясняются нами с позиций выноса органического вещества, образуемого в процессе оттаивания нижних горизонтов подстилки. Подтверждением тому является более интенсивное образование РОУ в циклах "замерзание - оттаивание", продемонстрированное ранее в работах [21, 28].

В то же время приведенные в табл. 2 данные представляют собой усредненные значения для выделенных периодов наблюдений, тогда как осадки, четко разграниченные во времени их выпадения, вызывали единовременный всплеск потока РОУ в почву, достигающий в отдельные дни 2-3 г С м⁻² сут⁻¹. В связи с этим нам представлялось важным выявление влияния таких факторов, как количество осадков и температура - движущих сил процессов образования, мобилизации и транспорта РОУ.

С этой целью подобраны 2 участка на склонах северной и южной экспозиций, которые характеризуются контрастными гидротермическими условиями, что в первую очередь связано с небольшим углом падения солнечных лучей в высоких широтах [3]. Сравнительный анализ температурного режима экспериментальных участков склонов показал, что среднесезонная температура по-

Таблица 2. Количество осадков и потоки растворенного органического углерода (РОУ) в почву на пробных площадях южного (ППЮ) и северного (ППС) склонов в течение вегетационного периода

Период и срок наблюдений	Среднесуточная температура, °С		Осадки, мм		Поток РОУ в почву, г С м ⁻²	
	ППС	ППЮ	ППС	ППЮ	ППС	ППЮ
13-25 июня 2002 г. (13 дней)	0.5* 19.1**	8.4 -	$\frac{2.1}{28}$	$\frac{2.5}{33}$	$\frac{0.06}{0.80}$	$\frac{0.15}{2.0}$
26 июня-25 августа 2002 г. (61 день)	4.8 17.8	11.8 -	$\frac{1.5}{94}$	$\frac{1.7}{109}$	$\frac{0.04}{2.3}$	$\frac{0.09}{5.6}$
26 августа-17 сентября 2002 г. (23 дня)	2.6 6.7	6.2 -	$\frac{3.1}{72}$	$\frac{3.2}{75}$	$\frac{0.25}{5.8}$	$\frac{0.44}{10.0}$
Итого	3.8 16.4	10.6 -	$\frac{2.2}{194}$	$\frac{2.5}{217}$	$\frac{0.12}{8.9}$	$\frac{0.23}{17.6}$

* Температура поверхности минерального горизонта почвы.

** Температура воздуха.

Примечание. В числителе приведены среднесуточные значения, в знаменателе - за весь период.

верхности почвы на ППЮ была в 2.7 раза выше (рис. 1). Тем не менее зависимость экспорта РОУ на этом склоне от температуры поверхности почвы в диапазоне от 4.0 до 11.8°C характеризовалась слабой степенью связи (рис. 2).

Подобный результат вступает в противоречие с данными, полученными М. Христом и М. Давидом [15] и С. Андерссоном с соавт. [13] в процессе лабораторных и полевых экспериментов. Следует, однако, отметить, что диапазон температур, использованный ими, был существенно шире, а резкое увеличение потоков РОУ обнаруживалось лишь при температуре 28-30°C. Для наших условий столь высокие значения температуры почв характерны лишь для верхних горизонтов под-

стилки в дневные часы, а общая теплообеспеченность профиля почвы в условиях Центральной Эвенкии характеризуется резким вертикальным градиентом температуры [9].

Более того, в условиях высоких температур и недостаточного увлажнения образование и экспорт РОУ из органических горизонтов могут быть ингибированы [15]. На наш взгляд, именно этим объясняется снижение потоков РОУ в середине вегетационного периода на обоих экспериментальных участках и отсутствие в условиях южного склона зависимости потока РОУ от температуры.

Тем не менее на северном склоне (ППС) при сходном количестве осадков экспорт РОУ в поч-

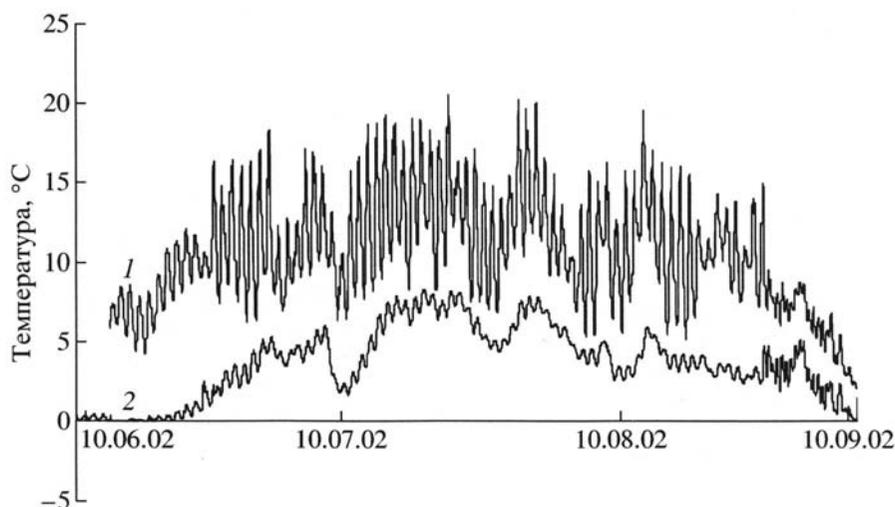


Рис. 1. Динамика температуры на поверхности минерального горизонта почвы на южном (1) и северном (2) склонах в течение вегетационного периода 2002 г.

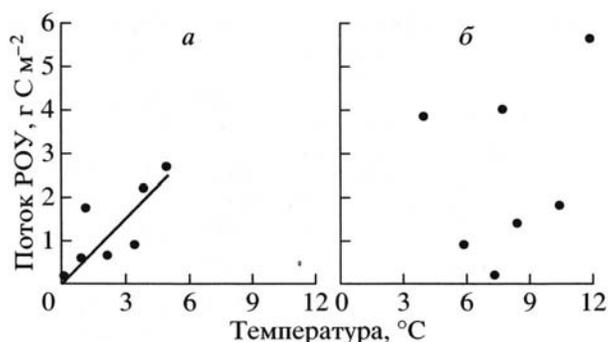


Рис. 2. Зависимость потока растворенного органического углерода от температуры поверхности минерального горизонта почвы: *a* - северный склон ($y = 0.44x + 0.35$, $R^2 = 0.62$); *b* - южный склон ($y = 0.21x + 0.78$, $R^2 = 0.09$).

ву имеет более отчетливый отклик на повышение температуры ($r = 0.79$, $p = 0.05$). Рост последней в течение вегетации (с 0.1 до 4.9°C) вызвал существенное увеличение потока растворенного

органического вещества (рис. 2). Однако величины потока здесь в выделенные периоды были в 1.4-2.6 меньше, чем на южном склоне. Отмеченное свидетельствует о существенном ингибировании образования РОУ при низких температурах почвы, характерных для северного склона. Кроме того, сказывается, вероятно, и переувлажнение северного склона, что подтверждается величинами водного потенциала верхних горизонтов почв этих площадей (рис. 3), а повышение температуры вызывает таяние мерзлоты и формирование надмерзлотного склонового стока. Последний приводит не только к переувлажнению органических горизонтов, но и снижению температуры почвы, поскольку температура формируемого потока близка к 0°C. Подобное наблюдается также при поступлении осадков в почву, вызывающем усиление таяния мерзлотного горизонта.

Перенос РОУ в почву осуществляется при таянии снежного покрова и далее на протяжении безморозного периода с дождевыми осадками, проникающими через органические горизонты.

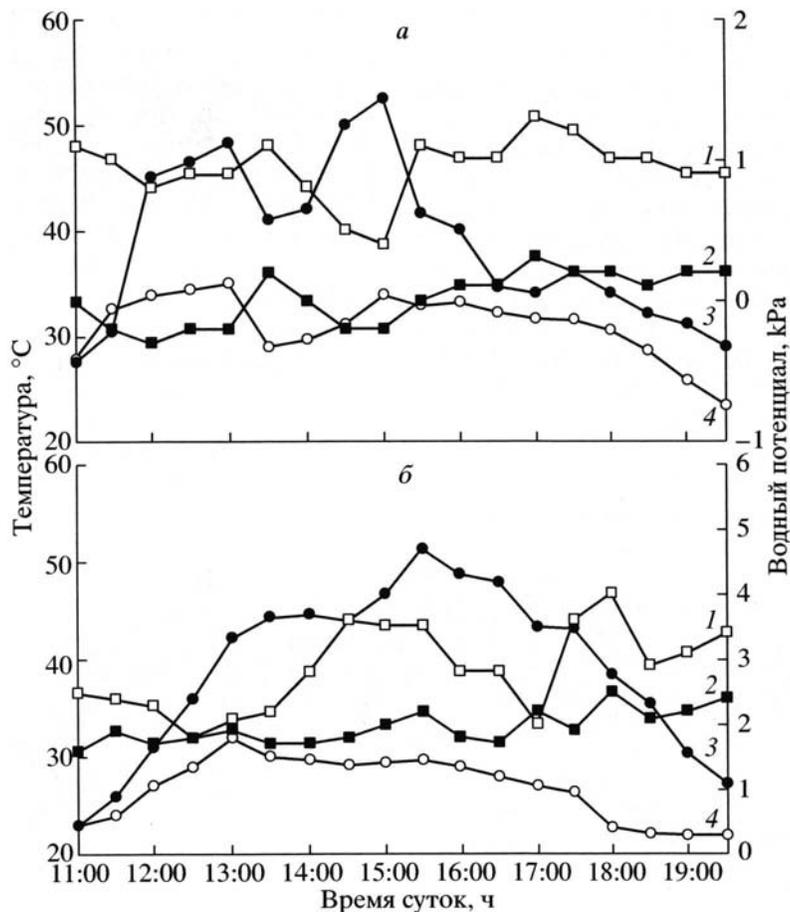


Рис. 3. Водный потенциал верхнего 5-сантиметрового горизонта почвы и температура на северном (*a*) и южном (*b*) склонах: 1 - водный потенциал в микроповышении; 2 - водный потенциал в микропонижении; 3 - температура поверхности мохового покрова; 4 - температура воздуха на высоте 1.3 м.

Поступление атмосферных осадков на поверхность мохового покрова в пределах выбранных пробных площадей на склонах разных экспозиций выявило высокую степень корреляции ($R = 0.998$, $P = 0.001$). Подобный результат указывает на сходство входных гидрологических параметров изучаемых склонов и важен для сравнения потоков РОУ. При этом, однако, на южном склоне величина поступивших осадков была несколько выше (около 10%), чем на северном, несмотря на более мощное проективное покрытие древостоя и предполагавшееся априори удержание их пологом.

На обоих склонах уже при величинах осадков свыше 20 мм сут⁻¹ обнаружено формирование поверхностного стока. При 40 мм осадков, выпавших подряд в течение 3-4 дней, объем лизиметрических вод уже в 1.6-2.0 раза превышал количество выпавших осадков (рис. 4), что связано с поступлением в лизиметры поверхностного стока с микроповышений. Максимальный поверхностный сток наблюдался на северном склоне с наиболее выраженным микрорельефом (разница высот между микропонижениями и микроповышениями достигает 0.8-1.0 м). Там же наблюдалось и большее удержание дождевых вод в моховом ярусе и подстилке при незначительных значениях осадков. Данный факт объясняется более сильным развитием мохового яруса и горизонта подстилки на северном склоне по сравнению с южным (табл. 1).

Концентрация РОУ в лизиметрических водах обоих участков с повышением количества поступивших осадков имеет тенденцию к снижению (рис. 5), что указывает на эффект разбавления. Полученные результаты находят подтверждение в ряде публикаций, в которых выявлены сходные закономерности для разных источников РОУ: подстилок, смывов с кроны и т.д. [22, 24]. Тем не менее относительно незначительное по сравнению с ростом количества осадков снижение концентраций РОУ указывает на существенный его пул, находящийся в неподвижной фазе. В частности, в работе [28] рассматриваются механизмы перераспределения РОУ между пулами разной подвижности, связанными, как правило, с порами разного диаметра. В связи с этим наибольшую роль при его мобилизации играют диффузионные и десорбционные процессы, и лишь дальнейшее восполнение запасов связано с биологической компонентой [16].

В связи с этим вынос РОУ в почву возрастал с повышением количества осадков на южном склоне с 0.2 до 9.8 г С м⁻² ($R = 0.90$, $P = 0.05$), а на северном с 0.6 до 4.9 г С м⁻² ($R = 0.86$, $P = 0.05$) (рис. 6). При этом усредненные потоки РОУ на южном склоне превышали более чем в 2 раза значения, обнаруженные на северном. Суммарный экспорт

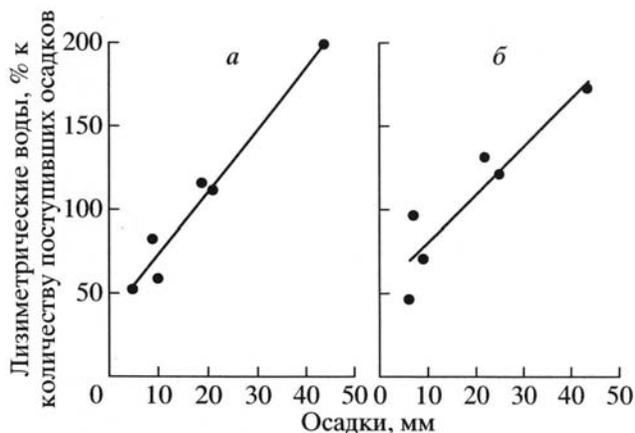


Рис. 4. Соотношение количества лизиметрических вод и выпавших осадков: *a* - северный склон ($y = 4.5x + 23.7$, $R^2 = 0.97$); *б* - южный склон ($y = 2.9x + 58.9$, $R^2 = 0.83$).

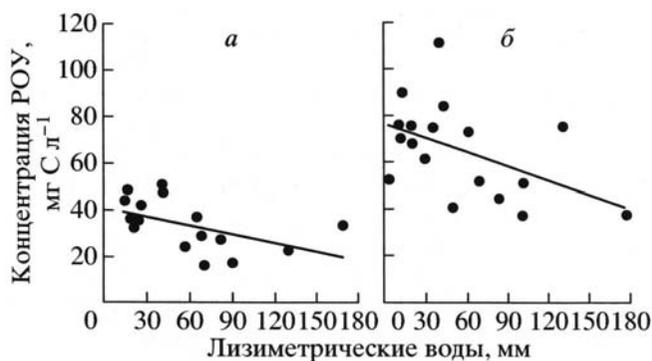


Рис. 5. Зависимость концентрации РОУ от объема лизиметрических вод: *a* - северный склон ($y = -0.15x + 42.6$, $R^2 = 0.36$); *б* - южный склон ($y = 0.21x + 77.3$, $R^2 = 0.28$).

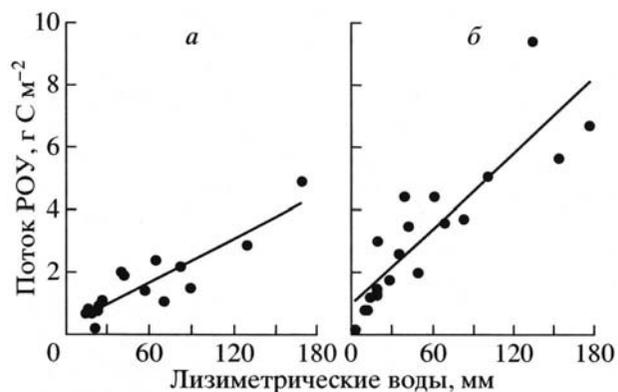


Рис. 6. зависимость потока РОУ в почву от объема лизиметрических вод: *a* - северный склон ($y = 0.03x$, $R^2 = 0.76$); *б* - южный склон ($y = 0.05x$, $R^2 = 0.66$).

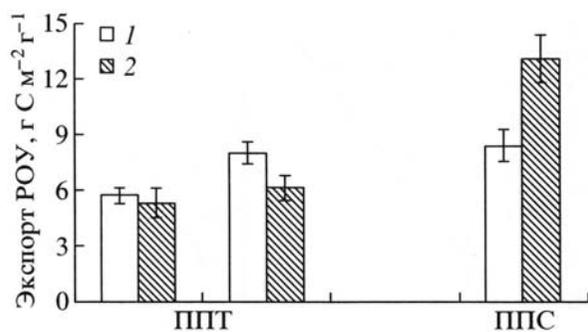


Рис. 7. Экспорт РОУ в почву в условиях избыточного увлажнения надпойменной террасы (ППТ) и на склоне северной экспозиции (ППС) в сухой 1998 г. (1) и влажный 2000 г. (2) в разных типах микроассоциаций мохового покрова: ППТ - слева *Sphagnum fuscum*, справа *Pleurozium schreberi*, ППС - *P. schreberi*.

(за весь период наблюдений) с южного участка достиг 17.6 г С м^{-2} , а северного - лишь 8.9 г С м^{-2} .

Таким образом, вместе с более высокой эмиссией CO_2 в атмосферу [27] южные склоны способны образовывать и значительно большие потоки РОУ. В связи с этим можно предполагать, что потепление климата способно стимулировать процессы образования РОУ в неблагоприятных с точки зрения температуры местообитаниях, рассмотренных на примере северного склона. Дальнейшее поведение растворенного органического вещества, поступившего в минеральные горизонты почвы, очень важно для моделирования поведения листовенных экосистем при потеплении климата. Оно может быть адсорбировано оттаивающей почвой при деградации мерзлоты, формируя стабильные органоминеральные комплексы, либо вымыто в водотоки с поверхностным и надмерзлотным стоком при слабой сорбционной активности почв. Соответственно листовенные экосистемы могут стать как стоком, так и источником $\text{C}_{\text{орг}}$.

Вариабельность годового выноса РОУ также связана с количеством осадков. Так, в засушливое лето 1998 г. экспорт РОУ с ППС оценивался величиной $8 \text{ г С м}^{-2} \text{ г}^{-1}$, тогда как в более влажный 2000 г. экспорт РОУ с этих же участков увеличился в среднем в 1.6 раза (рис. 7). В долине ручья (ППТ) при возрастании количества осадков поступление РОУ в почву в сфагновых ассоциациях претерпело незначительные изменения, составляя в среднем около $5 \text{ г С м}^{-2} \text{ г}^{-1}$, или имело тенденцию к снижению с 8 до $6 \text{ г С м}^{-2} \text{ г}^{-1}$ в зеленомошных (рис. 7). Можно сделать вывод, что повышение количества осадков, ведущее к избыточному увлажнению, играет отрицательную роль в формировании потоков РОУ в плохо дренированных местообитаниях. При этом видовой состав растений имеет важное значение в мозаичности поступления РОУ в листовенные древо-

стоях, что необходимо учитывать при расчетах потоков $\text{C}_{\text{орг}}$. Влияние качественного состава растительного материала (С : N, лигнин, фенол-карбоновые и органические кислоты и т.д.), поступающего на разложение, и гидротермических условий на процессы образования и мобилизацию РОУ при этом могут быть взаимосвязаны [17, 26].

Рассматривая годовой вынос на примере ППС, следует заметить, что на вегетационный период приходится значительная доля экспорта РОУ в почву. При этом, как уже отмечалось ранее, начало (конец мая - июнь) и конец (сентябрь) вегетации характеризуются наиболее высокими величинами среднесуточного потока РОУ. Сходные закономерности получены для южной тайги, где основное количество экспортируемого РОУ приходится на осенне-весенний сезон, а в наиболее засушливую середину вегетации формируются существенно меньшие потоки подвижного органического вещества. С другой стороны, в осенний период основной вклад в повышение выноса РОУ, по данным Д. Хонгве с соавт. [18], вносит свежий опад, подвергающийся вымыванию легкорастворимых форм углерода. В условиях Центральной Эвенкии продолжительный период опадания хвои листовенницы (30 и более дней), резкий переход к отрицательным температурам и выпадение уже с середины сентября осадков преимущественно в виде снега снижают роль данного источника РОУ. Вероятно, влияние свежего опада сказывается лишь в весенний период следующего года, когда поток РОУ формируется в результате оттаивания органических горизонтов. В зимний же период поток РОУ в почву полностью прекращается. Согласно данным 2000-2002 гг., переход к отрицательным температурам на поверхности минеральной почвы происходит уже в середине октября. Отрицательные температуры в подстилках сохраняются до конца мая на южных склонах и середины июня на склонах северных экспозиций.

Заключение. Мозаичность гидротермических условий и разнообразие растительного покрова определяют вариабельность накопления органического вещества в различных типах листовенных экосистем региона исследований [1]. В связи с этим образование и экспорт РОУ из наземных экосистем зависит от конкретных условий местообитания и контролируется температурой, осадками, качеством растительного материала и условиями дренажа. Очевидно, что увеличение количества осадков в хорошо дренируемых условиях будет вести к дальнейшему росту экспорта РОУ в почвы, а биогеохимические циклы в низкопродуктивных древостоях северных и восточных склонов и переувлажненных поймах с ростом температуры при глобальном потеплении могут подвергнуться существенным изменениям. В частности, повышение скоростей разложения накопленного органического вещества будет стиму-

лизовать потерю углерода лесными экосистемами не только в виде CO₂, как это рассматривается в прогнозах, но и в водорастворимой фазе. Таким образом, принимая во внимание повышение количества осадков и температуры воздуха как последствий глобального потепления климата в высоких широтах Сибири [11], правомерно ожидать существенного возрастания поступления РОУ в криогенные почвы. В то же время происходящая одновременно деградация мерзлоты и соответственно увеличивающаяся глубина деятельного горизонта, повышая адсорбционную емкость почв [19], может стать ключевым фактором в прогнозировании экспорта РОУ из наземных экосистем в гидрографическую сеть региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ведрова Э.Ф., Мухортова Л.В., Безкорвайная И.Н., Клименко А.В., Климентенко Л.А.* Органическое вещество почв лиственничников северной тайги // Почвоведение. 2002. № 8. С. 967-974.
2. *Виноградов М.Е., Романкевич Е.А., Ветров А.А., Ведерников В.И.* Цикл углерода в арктических морях России // Глобальные изменения природной среды и климата. Избр. науч. тр. по проблеме: "Глобальная эволюция биосферы. Антропогенный вклад". Отдельный выпуск. М.: Научный совет подпрограммы, Московский фил. Гос. научно-исследовательского центра прогнозирования и предупреждения геоэкологических и техногенных катастроф при Кубанском гос. ун-те Министерства общего и профессионального образования РФ, 1999. С. 300-325.
3. *Герасимов И.П.* Средняя Сибирь. М.: Наука, 1964. 256 с.
4. *Добровольский Г.В., Трофимов С.Я., Седов С.Н.* Углерод в почвах и ландшафтах Северной Евразии // Глобальные изменения природной среды и климата. Избр. науч. тр. по проблеме: "Глобальная эволюция биосферы. Антропогенный вклад". Отдельный выпуск. М.: Научный совет подпрограммы, Московский фил. Гос. научно-исследовательского центра прогнозирования и предупреждения геоэкологических и техногенных катастроф при Кубанском гос. ун-те Министерства общего и профессионального образования РФ, 1999. С. 233-270.
5. *Ершов Ю.И.* Мезоморфное почвообразование в таежно-мерзлотном семигумидном секторе Средней Сибири // Почвоведение. 1994. № 10. С. 10-18.
6. *Кауричев И.С., Яшин И.М., Кашанский А.Д.* Методы стационарного исследования почв / Под ред. Роде А.А. М.: Наука, 1977. С. 167-198.
7. *Поздняков Л.К.* Гидроклиматический режим лиственничных лесов Центральной Якутии. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 175 с.
8. *Прокушкин А.С., Прокушкин С.Г., Абаимов А.П.* Водорастворимый органический углерод в лиственничных экосистемах на мерзлотных почвах Средней Сибири. Лесные экосистемы Енисейского меридиана / Под ред. Плешикова Ф.И. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. С. 264-274.
9. *Прокушкин С.Г., Абаимов А.П., Прокушкин А.С.* Температурный режим в лиственничниках на мерзлотных почвах Средней Сибири. Лесные экосистемы Енисейского меридиана / Под ред. Плешикова Ф.И. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. С. 34-45.
10. *Титлянова А.А., Кудряшова С.Я.* Запасы лабильного углерода в экосистемах Западной Сибири // Почвоведение. 1999. № 3. С. 332-341.
11. *Уткин А.И.* О возможной динамике лесной растительности в экотонах северной Евразии при глобальном потеплении // Классификация и динамика лесов Дальнего Востока: Матер. Междунар. конф. (5-7 сентября 2001 г. Владивосток). Владивосток: Дальнаука, 2001. С. 125-127.
12. *Яшин И.М., Кауричев И.С.* Почвенно-экологические функции водорастворимых органических веществ в лесных ландшафтах Европейского Севера // Всесоюз. конф., посвященная 280-летию со дня рождения М.В. Ломоносова: Тез. докл. Архангельск: Изд-во Архангельского гос. ун-та, 1991. С. 142-146.
13. *Andersson S., Nilson S.I., Saetre P.* Leaching of dissolved organic carbon and dissolved organic nitrogen in mor humus as affected by temperature and pH // Soil Biol. Chem. 2000. № 32. P. 1-10.
14. *Berg B.* Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils // For. Ecol. Manag. 2000. № 133. P. 13-22.
15. *Christ M.J., David M.B.* Temperature and moisture effects on the production of dissolved organic carbon in a spodosol // Soil Biol. Biochem. 1996. № 28 (9). P. 1191-1199.
16. *David M.B., Christ M.J.* Dynamics of extractable organic carbon in spodosol forest floor // Soil Biol. Biochem. 1996. № 28 (9). P. 1171-1179.
17. *Hobbie S.E.* Temperature and plant species control over litter decomposition in Alaskan tundra // Ecol. Monogr. 1996. № 66. P. 503-522.
18. *Hongve D., Van Hees P.A.W., Lunsdrom D.* Dissolved components in precipitation water percolated through forest litter // Europ. J. Soil Sci. 2000. № 51. P. 667-677.
19. *Jardine P.M., Weber N.L., McCarthy J.F.* Mechanisms of dissolved organic carbon adsorption on soil // Soil Sci. Soc. Am. J. 1989. № 53. P. 1378-1385.
20. *Lofts S., Simon B.M., Tipping E., Woof C.* Modeling the solid-solution partitioning of organic matter in European forest soils // Europ. J. Soil Sci. 2001. № 52. P. 215-226.
21. *McClellan R., Oswood M.W., Irons III J.G., McDowell W.H.* The effect of permafrost on stream biogeochemistry: a case study of two streams in the Alaskan (USA) taiga // Biogeochem. 1999. № 47. P. 239-267.
22. *Mchalzik B., Matzner E.* Dynamics of dissolved organic nitrogen and carbon in a Central European Norway spruce ecosystem // Europ. J. Soil Sci. № 50 (4). P. 579-590.
23. *Näsholm T., Ekblad A., Nordin A., Giesler R., Höglberg M., Höglberg P.* Boreal forest plants take up organic nitrogen // Nature. 1998. № 392. P. 914-916.
24. *Neff J.C., Asner G.P.* Dissolved organic carbon in terrestrial ecosystems: synthesis and model // Ecosystems. 2001. № 4. P. 29-48.

25. *Prokushkin A.S., Prokushkin S.G., Schibata H., Matsuura Y., Abaimov A.P.* Dissolved organic carbon in coniferous forests of Central Siberia // *Eurasian J. Forest Res.* 2001. № 2. P. 45-58.
26. *Van Cleave K., Yarie J.* Interaction of temperature, moisture and soil chemistry in controlling nutrient cycling and ecosystem development in the taiga of Alaska // *Forest ecosystem in the Alaskan taiga* / Eds. Van Cleave K. et al. N.Y.: Springer-Verlag, 1986. P. 234-245.
27. *Yanagihara Y., Koike T., Matsuura Y., Shibata H., Satoh H., Prokushkin A., Abaimov A., Zyryanova O.* Soil respiration on the contrasting north- and south-facing slopes of a larch forests in Central Siberia // *Eurasian J. Forest Res.* 2000. № 1. P. 19-29.
28. *Zsolnay A.* Dissolved humus in soil waters // *Humic substances in terrestrial ecosystems* / Ed. Piccolo A. Amsterdam: Elsevier, 1996. P. 171-223.

The Flux of Dissolved Organic Carbon to Soil under Larch Forests in Conditions of Permafrost in Central Siberia

A. S. Prokushkin, I. V. Gavrilenko, S. G. Prokushkin, and A. P. Abaimov

The influence of hydrothermal conditions on the export of dissolved organic carbon (DOC) from the organic horizon to mineral soil under larch forests growing in the permafrost zone was studied. During the growing period (June-September), the total flux of DOC was 17 g C m^{-2} on the south-facing slope and only 9 g C m^{-2} on the north-facing one. The significant portion of precipitation falls on the frost-free period (growing period) with the peaks in spring and autumn, when hydroclimatic conditions are favorable for the DOC production. The analysis of the DOC flux in "dry" and "wet" years shows that it is related to precipitation only in well-drained sites. The effect of the species composition of the ground cover on the formation of the DOC flux is shown using the example of the ground cover composed of green and sphagnum mosses within the same forest type.