

ПОТОКИ УГЛЕРОДА В СТЕПНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ (НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОГО ЗАБАЙКАЛЯ)

Г.Д. ЧИМИТДОРЖИЕВА, Р.А. ЕГОРОВА, Е.Ю. МИЛЬХЕЕВ, Ю.Б. ЦЫБЕНОВ

CARBON FLUX IN STEPPE ECOSYSTEMS: CASE STUDY FROM THE SOUTHERN TRANS-BAIKAL REGION

G.D. CHIMITDORZHIEVA, R.A. EGOROVA, E.Yu. MILKHEEV, Yu.B. TSYBENOV

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, 670047 Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

Institute of General and Experimental Biology, SB RAS, 670047 Ulan-Ude, Sakhyanovoi str., 6

Fax: +7 (3012) 433-034; e-mail: galdorj@gmail.com

Изучены потоки углерода в луговых экосистемах различных биоклиматических зон Забайкалья — в сухой степи, в умеренно засушливой лесостепи, в мерзлотной лесостепи. Величины NPP во всех изученных экосистемах низки, в структуре биомассы корневая часть в 4–11 раз превышает надземную. Вследствие низких показателей суммарной эмиссии CO₂ из почв, они депонируют значительное количество углерода.

Ключевые слова: NPP, депонирование углерода, луга, степи, почвенное дыхание.

The carbon flux in grassland ecosystems of different bioclimatic zones within the Transbaikal region has been studied. The extra-arid steppe (Selenginskoye middle mountain area: sedge-grass-herbage community on meadow-chestnut soil), moderately arid forest-steppe (the Selenga River delta: herbage-grassy community on meadow-subsaline soil), cryoarid forest-steppe (Vitimskoye plateau: grass-herbage community on meadow-chernozem cryosols) were among them. NPP values in all ecosystems were low: 2404 g/m² per year in the forest-steppe zone, 1407 in the arid steppe zone, and 1540 in the cryoarid ecosystem. Prevalence of the below-ground part in the total biomass structure was revealed for all communities of continental territories. On account of short warm period the total CO₂ emission is low. It is maximal from the meadow-subsaline soil in moderately arid forest-steppe and evaluated as equal 1163 g C/m². The CO₂ emission from the meadow-chestnut soil is much lower (633 g C/m²), and falls to the minimal value (353 g C/m²) in the meadow-chernozem cryosols. The soils appear as the significant depositary of the carbon.

Key words: NPP, carbon deposition, meadows, steppe, soil respiration.

ВВЕДЕНИЕ

Обменный фонд углерода в атмосфере представлен в основном в виде CO₂, среднегодовая концентрация которого в настоящее время составляет уже более 360 ppm, на долю метана и окиси углерода приходится всего около 2 и 0.09 ppm соответственно (Кудеяров и др., 2007). Основным механизмом связывания CO₂ в составе органической биомассы на Земле является фотосинтез (Воронин, Блэк, 2005). В мире его годовой результат составляет 120 млрд т углерода (рис. 1), около половины от этой величины растения расходуют на собственное дыхание, в том числе и корневое (Houghton, Skole,

1990; Schlesinger, Andrews, 2000). Остальная часть приходится на чистую первичную продукцию фотосинтеза, соответствующую углероду ежегодной продукции биомассы (надземная + подземная), которая представляет собой наземный биологический сток углекислоты (Кудеяров и др., 2007). Таким образом, различают следующие природные потоки CO₂: сток, эмиссия углекислого газа и дыхание почвы.

Цель исследований — выявление потоков углерода и определение его баланса в травяных ценозах различных районов Забайкалья.

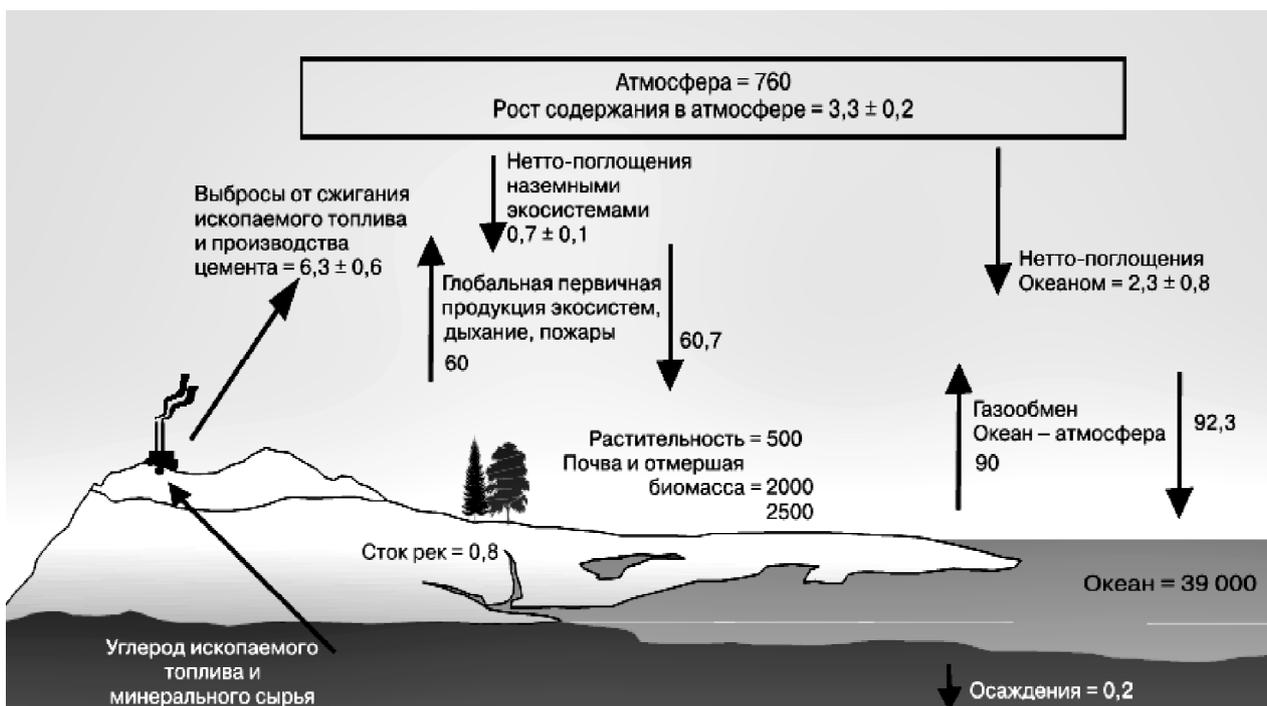


Рис. 1. Глобальный баланс углерода в среднем за 10 лет с 1980 по 1998 г. Запасы – млрд т С; потоки – млрд т С/год. Источник: LULUCF, 2000

ОБЪЕКТЫ И РАЙОНЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследования — травяные ценозы Витимского плоскогорья (с. Сосновоозерское, мерзлотная лесостепь) со злаково-разнотравным сообществом, под которым формируются лугово-черноземные мерзлотные почвы ($C_{\text{орг}} - 4.0\%$; pH — 7.0); дельты р. Селенги в Прибайкалье (с. Кабанск, умеренно-засушливая лесостепь) с разнотравно-злаковым сообществом на луговых солончаковатых почвах ($C_{\text{орг}} - 4.2\%$; pH — 7.5); Селенгинского среднегорья (с. Тохой, сухая степь) с осоково-злаково-разнотравным сообществом, где формируются лугово-каштановые почвы ($C_{\text{орг}} - 2.4\%$; pH — 7.4).

Климат Витимского плоскогорья, подобно всей территории Забайкалья, резко континентальный, среднегодовая температура воздуха составляет $-4.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, средняя температура наиболее теплого месяца (июль) $17.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ и самого холодного (январь) $-25.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Абсолютный минимум температуры достигает $-50-54\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это приводит к смыканию сезонно-талого слоя (280–300 см) с многолетней мерзлотой. Среднегодовая сумма осадков в районе составляет 304 мм, из них в холодное время выпадает 40 мм (13%). Продолжительность периода с температурой выше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет 75–90 дней.

Для Селенгинского среднегорья характерны: отрицательная среднегодовая температура ($-1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$), большие колебания температуры в течение суток и огромные сезонные амплитуды — $23-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ в январе и $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ в июле. При годовой сумме осадков 255–280 мм, в июле-августе выпадает 80–90%. Небольшое количество зимних осадков определяет маломощность снежного покрова (или его отсутствие) и промерзание почвы на глубину 250–300 см. Продолжительность периода с температурой выше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет 90–110 дней.

Экосистемы дельты р. Селенги развиваются в условиях сравнительно мягкого климата из-за влияния озера Байкал. Климат также характеризуется большими амплитудами температуры воздуха в течение суток и года. Средняя годовая температура воздуха равна $-1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. При годовой норме осадков в 315 мм, наименьшее количество выпадает в зимнее время, максимум их приходится на июль и август (40–50% от общей суммы осадков). Продолжительность периода с температурой выше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет 88–106 дней. Таким образом, рассматриваемые экосистемы подвергаются мощному воздействию криогенеза, особенно это проявляется в мерзлотной лесостепи, где протекание всех биологических процессов запаздывает на 15–20 дней.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Сток углерода определен по конечной биомассе за вегетационный период (надземная + подземная). Величину чистой первичной продукции (NPP) определяли методом А.А. Титляновой (1971) в 5-кратной повторности по фазам развития растений. Надземную фитомассу учитывали на площади 1 м², корневую — в слое 0–20 см. Эмиссию CO₂ за вегетационный период опреде-

ляли абсорбционным методом в модификации И.Н. Шаркова (1987), с интервалом в одну неделю в 3-кратной повторности, одновременно производили измерение температуры и влажности почвы в слое 0–20 см (рис. 2). Баланс углерода оценивали на основе сравнения поступления его в почву с растительными остатками и потерь из нее в виде CO₂.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В травяных экосистемах растительное вещество представлено надземной (зеленая фитомасса, ветошь, подстилка) и подземной (живые и мертвые подземные органы) фитомассами. В обеих частях создается чистая первичная продукция (NPP): надземная (ANP) — как результат фотосинтеза и дыхания листьев, стеблей, и подземная (BNP) — как результат транслокации фотосинтетатов в подземные органы и дыхания последних.

В таблице приведены данные, позволяющие дать оценку величины чистой первичной про-

дукции в луговых ценозах Забайкалья с таковой Западной Сибири.

Злаково-разнотравное сообщество на лугово-черноземных мерзлотных почвах продуцирует значительно меньше надземной биомассы (126 г/м²·год), чем злаково-разнотравный остепненный луг Западной Сибири (530 г/м²·год). Однако, несмотря на такое большое различие, величины чистой первичной продукции в сравниваемых экосистемах оказываются равными (1540 и 1520 г/м²·год соответственно), а отношение BNP/ANP в мерзлотной

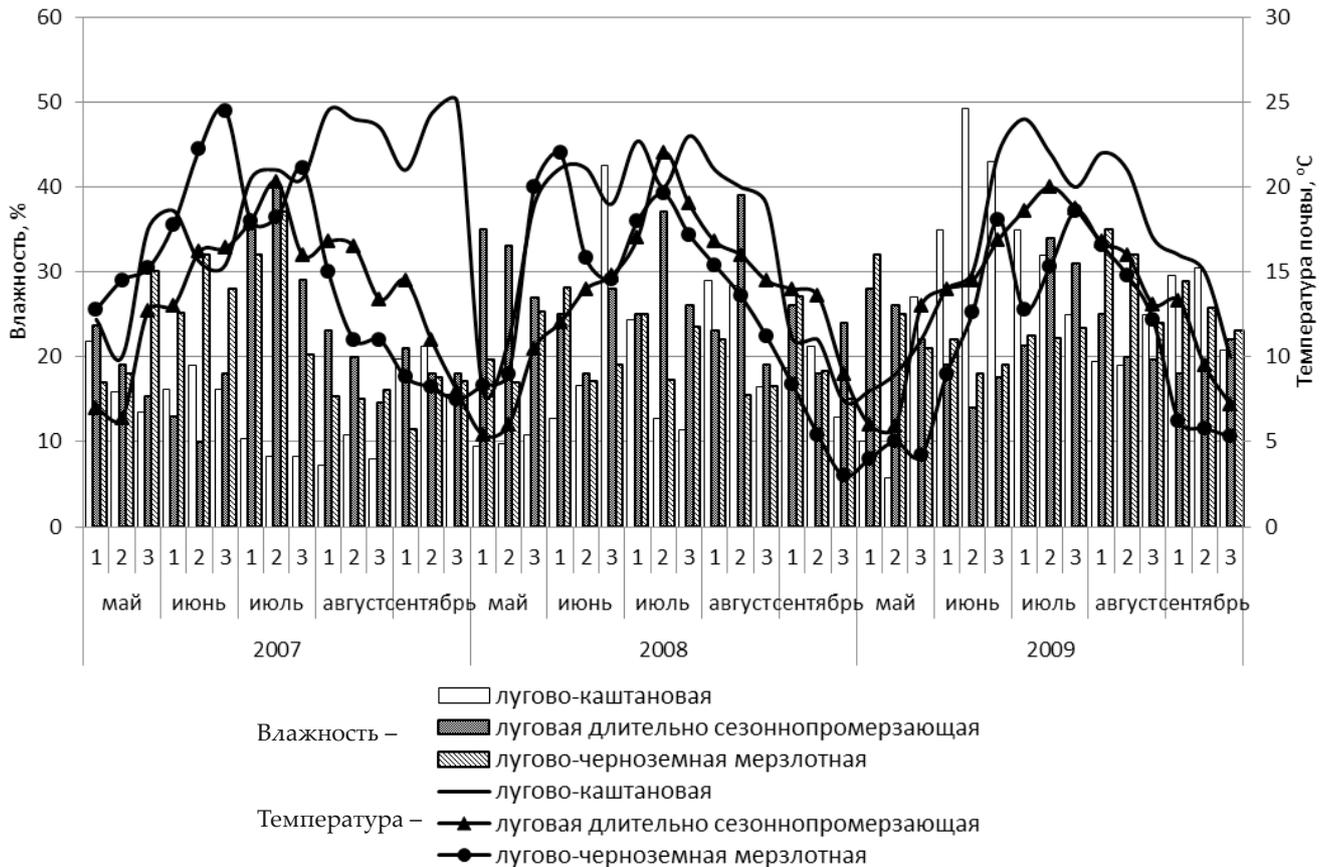


Рис. 2. Гидротермические показатели почв (слой 0–20 см)

Травяные сообщества и их продукция

Координаты	Сообщество	Доминанты*	Почва	Режим использования	Продукция, г/(м ² ·год)			BNP/ ANP
					ANP	BNP	NPP	
Лесостепная зона								
52°05' с.ш. 106°62' в.д.	Разнотравно-злаковый луг	<i>Elytriga repens</i> (L.) Nevski, <i>Equisetum pratense</i> Ehrh., <i>Carex pediformis</i> C.A. Mey.	Луговая солончаковатая	сенокос	500	1904	2404	3.8
55°20' с.ш. 76°20' в.д.	Ячменевый солончаковатый влажный луг ¹	<i>Hordeum brevisubulatum</i> (Trin.) Link, <i>Plantago cornutii</i> Gouan, <i>Saussurea amara</i> (L.) DC.	Луговая осолоделая	заповедный	410	1910	2470	4.0
52°71' с.ш. 111°56' в.д.	Злаково-разнотравный луг	<i>Sanguisorba officinalis</i> L., <i>Poa pratensis</i> L., <i>Trifolium pratense</i> L., <i>Taraxacum czuense</i> Schischk.	Лугово-черноземная мерзлотная	пастбище	126	1414	1540	11.2
52°71' с.ш. 111°56' в.д.	Злаково-разнотравный луг ²	<i>Taraxacum czuense</i> Schischk., <i>Poa pratensis</i> L., <i>Galium boreale</i> L., <i>Veronica linariifolia</i> Pallas ex Link	Лугово-черноземная мерзлотная	пастбище	230	1280	1510	5.6
56°00' с.ш. 91°38' в.д.	Злаково-разнотравный остепненный луг ³	<i>Stipa pennata</i> L., <i>S. krylovii</i> Roshev., <i>Artemisia commutata</i> Bess.	Лугово-черноземная	заповедный, после сенокоса	530	990	1520	1.9
Сухая степь								
51°36' с.ш. 106°61' в.д.	Осоково-злаково-разнотравный луг	<i>Sanguisorba officinalis</i> L., <i>Poa pratensis</i> L., <i>Trifolium pratense</i> L., <i>Taraxacum czuense</i> Schischk., <i>Carex duriuscula</i> C.A. Mey.	Лугово-каштановая	сенокос	121	1286	1407	10.6
51°18' с.ш. 106°29' в.д.	Разнотравно-ячменевый луг ⁴ (пойма)	<i>Poa pratensis</i> L., <i>Sanguisorba officinalis</i> L., <i>Trifolium lupinaster</i> L.	Луговая солончаковатая	сенокос	246	1628	1874	6.6

Примечание. Названия растений даны согласно «Конспекту флоры Сибири» (2005). Примечание: ¹ – Западная Сибирь, Барабинская низменность, А.А. Титлянова (2007); ² – Восточная Сибирь, Витимское плоскогорье, Г.Д. Чимитдоржиева (1990), ³ – Средняя Сибирь, Назаровская котловина, А.А. Титлянова (2007); ⁴ – Восточная Сибирь, Селенгинское среднегорье, М.Г. Меркушева (2006).

лесостепи в 6 раз выше, чем в лесостепи Западной Сибири, вследствие того, что растения более континентальных степей транслируют в подземные органы значительно большую долю фотосинтатов (до 90 %). Это отмечено рядом исследователей (Ногина, 1964; Bazilevich, Titlyanova, 1980).

По ранним нашим исследованиям (Чимитдоржиева, 1990), величина ANP злаково-разнотравного сообщества на лугово-черноземных мерзлотных почвах составляла 230 г/м²·год, и отношение BNP/ANP было равным 5.6. В настоящее время последняя цифра возросла до 11.2 вследствие перевыпаса, где BNP возросла до 1414 г/м²·год, при ANP, равной 125. Такая закономерность отмечена А.А. Титляновой (2007), где одна и та же травяная экосистема в зависимости от изменений нагрузки в результате быстрой смены доминантных видов отличалась количественными параметрами биотического круговорота.

В разнотравно-злаковом сообществе умеренно засушливой лесостепи величина NPP достигает

2404 г/м²·год, где подземная масса составляет 80 % от нее. Почвенно-экологические условия территории дельты р. Селенги под влиянием озера Байкал смягчаются и приближаются к таковым Западной Сибири (Панфилов и др., 1976), следствием чего все параметры потоков углерода в сравниваемых экосистемах относительно близки (см. таблицу). Близкие значения первичной продукции, и соотношения надземной и подземной биомассы, по-видимому, также связаны с режимом использования этих лугов и степенью засоления.

Осоково-злаково-разнотравное сообщество сухой степи накапливает NPP (1407 г/м²·год) за счет активного прироста корней, отношение BNP/ANP составляет 10.6, т.е. здесь процессы биотического круговорота более интенсивны в подземном ярусе вследствие дефицита влаги в весенний и раннелетний периоды. Имеются исследования, когда с возрастанием водообеспеченности в сообществах (например, разнотравно-ячменевый луг) увеличивается NPP и в ней доля надземной фитомассы,

где отношение BNP/ANP сужается до 6.6 (Меркушева, 2006).

Таким образом, функцией эдафических условий в структуре продукции фитоценозов служит отношение BNP/ANP, которое значительно варьирует в исследуемых сообществах, что обусловлено в мерзлотной лесостепи дефицитом тепла, в сухой степи — влаги. В условиях умеренно-засушливой лесостепи эта величина аналогична таковой для Западной Сибири.

Почвенное дыхание является процессом экосистемы, в результате которого происходит освобождение диоксида углерода из почвы при дыхании корней, почвенных животных, микробиологическом разложении органического вещества и связано с ее продуктивностью, плодородием почвы и циклом углерода. В течение года оно прямо или косвенно контролируется температурой и влажностью почвы. Большинство исследований зависимости дыхания почвы от этих факторов почвы в полевых условиях сводится к поиску достоверных корреляций между этими переменными (Ларионова и др., 2010).

Гидротермические условия в годы проведения исследований (2007–2009 гг.) незначительно отличались между собой (см. рис. 2). Для Забайкалья характерна сухая холодная и ветренная погода весной и в начале лета, что приводит к иссушению почв в мае-июне, а во второй половине лета выпадают осадки, которые увеличивают влажность почвы до

30–40 %. Температура в лугово-черноземных мерзлотных почвах в течение мая-июня на 4–6 °С ниже, чем в лугово-каштановых, переход через 10 °С отмечается в них на 15–20 дней позже. Во второй половине лета, вследствие постепенного прогревания мерзлотной почвы, температурный режим во всех почвах выравнивается.

Сезонная динамика эмиссии CO₂ из почв определялась, главным образом, погодными условиями года исследований и имела вид либо одновершинных кривых с максимальными значениями в летние месяцы, либо носила «пилообразный» характер (рис. 3). Высокие значения суммарного продуцирования углекислоты (1163 г С/м²) наблюдаются из почв придельтовой части со значительным содержанием гумуса (рис. 4), а из лугово-черноземных мерзлотных почв, также богатых органическим веществом, этот показатель был втрое ниже (353 г С/м²). Известно, что в почвах мерзлотной и холодной формации климат генетических горизонтов определяет биологическую активность и эмиссию CO₂ (Худяков, 2004). Лугово-каштановые почвы, обедненные органическим веществом, занимают промежуточное положение по величине эмиссии CO₂ (633 г С/м²), где лимитирующим фактором является увлажнение.

Следует отметить, что на медленный деструкционный процесс органического вещества также влияет значительное содержание в фитомассах региона целлюлозо-лигнинного комплекса

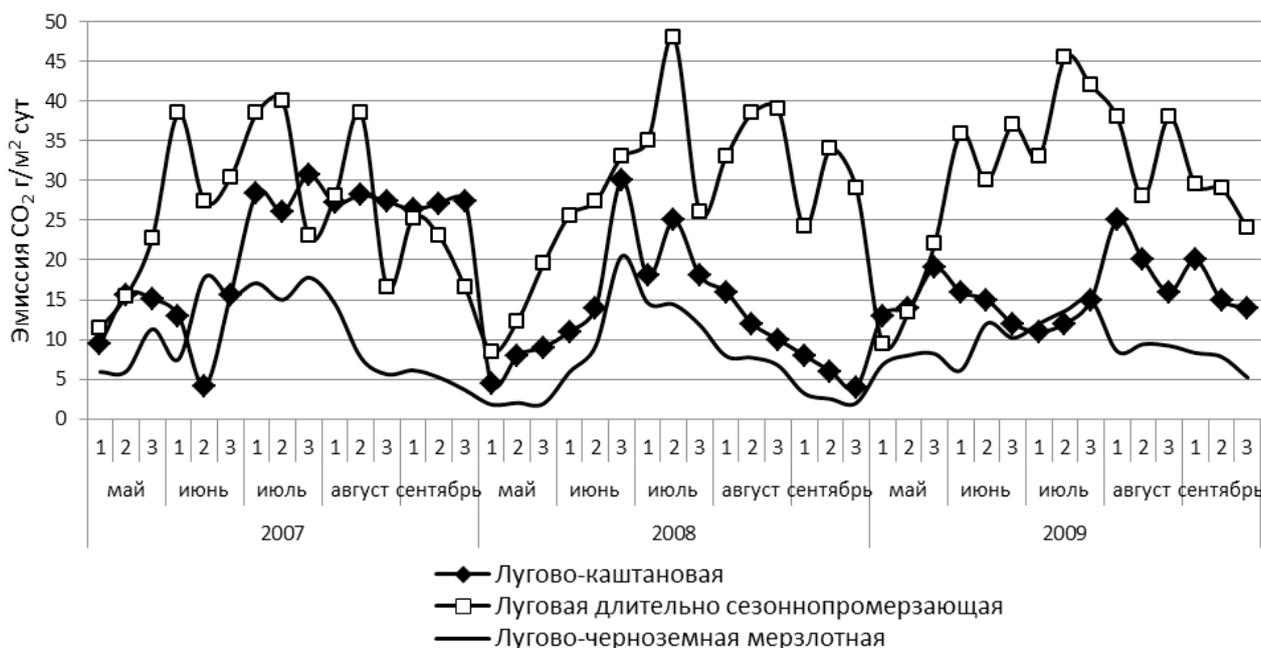


Рис. 3. Эмиссия CO₂ из почв за вегетационный период

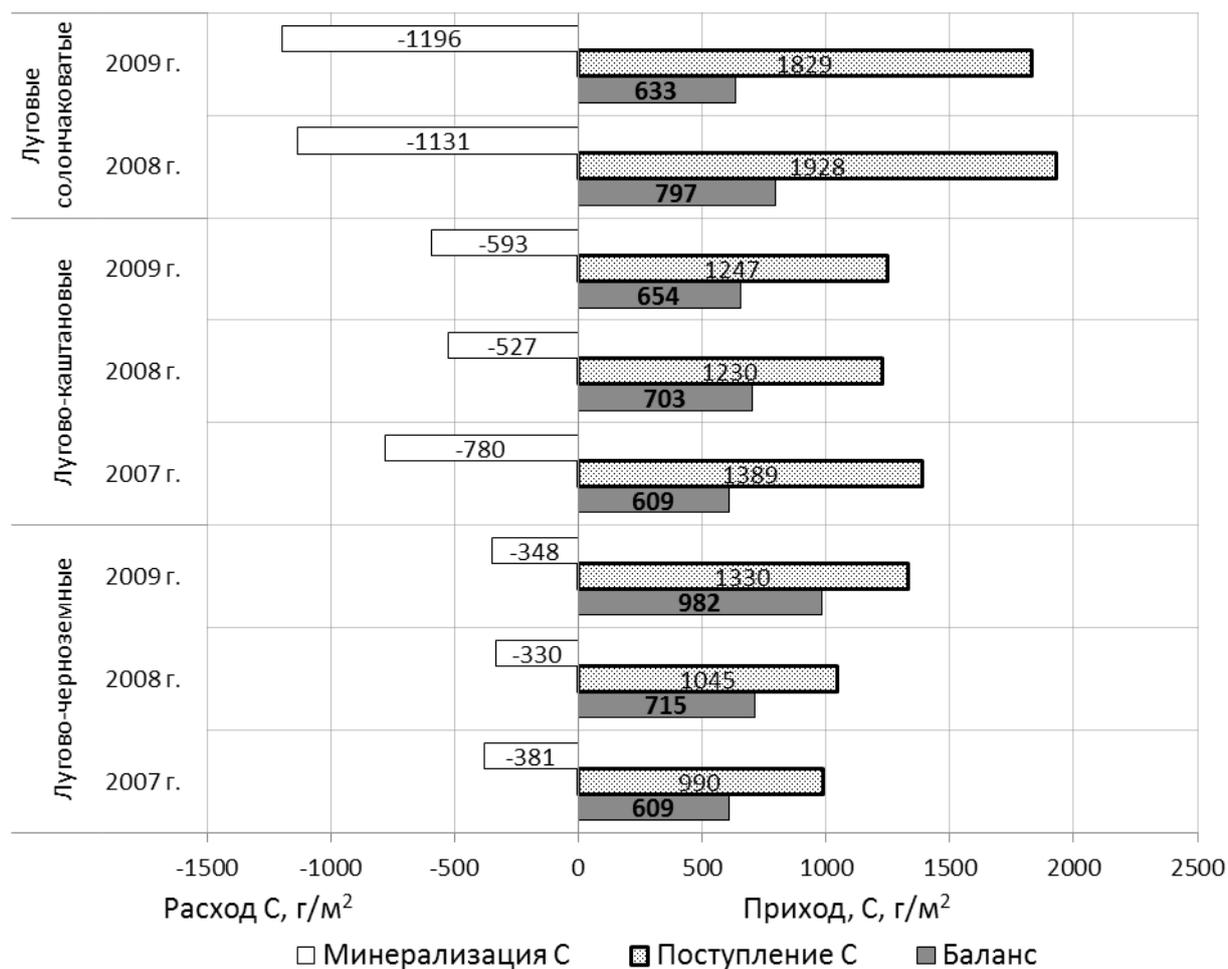


Рис. 4. Баланс углерода в почвах

(Чимитдоржиева, 1990), которое нами рассматривается как адаптационная реакция фитоценозов на экстремальные климатические условия Забайкалья (резкие суточные и сезонные перепады температур воздуха). В мерзлотной и умеренно-засушливой лесостепи на поток CO_2 из почв лимитирующее действие оказывает фактор температуры, тогда как в экстраридной степи — увлажнение.

Баланс углерода, рассчитанный за 3 вегетационных периода, представлен на рис. 4. Выявлено, что в Забайкалье под разнотравно-злаковым сообществом на лугово-солончаковатых почвах биотический сток углекислоты и суммарная эмиссия максимальны — 1878 и 1163 г С/м² соответственно. Присутствующая многолетняя мерзлота в лугово-черноземных почвах замедляет как продукционные, так и деструкционные процессы, где эти же показатели значительно ниже — 1122 и 353.

Промежуточное положение занимает осоково-злаково-разнотравное сообщество со средними величинами 1289 и 633. Наибольшее количество углерода депонируется в лугово-черноземных мерзлотных почвах — 769, наименьшее — в лугово-каштановых — 655, луговые солончаковатые занимают промежуточное положение — 715 г С/м². Поскольку поступление органического вещества в криоаридные почвы Забайкалья заметно превышает его потери, отмечается положительный баланс углерода.

Таким образом, почвы изучаемых экосистем можно расположить в убывающие ряды:

- по интенсивности продукционно-деструкционных процессов: луговая солончаковатая → лугово-каштановая → лугово-черноземная мерзлотная;
- по депонированию углерода: лугово-черноземная мерзлотная → луговая солончаковатая → лугово-каштановая.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В мерзлотной лесостепи продуктивность фитоценозов низка, что обусловлено коротким вегетационным периодом, присутствием мерзлоты в почвогрунтах. Величина NPP в сухой степи также невысока, что связано с аридностью климата, а в умеренно-засушливой лесостепи — сравнительно выше. Во всех сообществах в формировании NPP отмечено преимущественное участие корневой массы. Показатели эмиссии CO₂ из исследованных

почв невысоки, из луговых солончаковатых они максимальны.

В системе атмосфера-растение-почва преобладает сток углекислоты со значительным депонированием углерода в почвах. Однако, следует ожидать возрастания эмиссии диоксида углерода при прогнозируемом потеплении.

Работа выполнена в рамках проекта, поддержанного грантом РФФИ № 10-04-01368-а.

ЛИТЕРАТУРА

- Базилевич Н.И., Титлянова А.А. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах. Новосибирск, 2008. 376 с.
- Воронин П.Ю., Блэк К.К. Значение и место фотосинтетического стока углерода в органической ветви его глобального цикла // Физиология растений. 2005. Т. 52. С. 81–89.
- Конспект флоры Сибири: Сосудистые растения / Под ред. К.С. Байкова. Новосибирск, 2005. 362 с.
- Кудяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А. и др. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. М., 2007. 315 с.
- Ларионова А.А., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О. и др. Эмиссия диоксида углерода из агросерых почв при изменении климата // Почвоведение. 2010. № 2. С. 1–10.
- Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л., Корсунов В.М. Биопродуктивность сенокосов и пастбищ сухостепной зоны Забайкалья. Улан-Удэ, 2006. 515 с.
- Ногина Н.А. Почвы Забайкалья. М., 1964. 312 с.
- Панфилов В.П., Ландина М.М., Трубецкая А.П. и др. Агрофизическая характеристика почв Западной Сибири. Новосибирск, 1976. 544 с.
- Титлянова А.А. Изучение биологического круговорота в биоценозах (методическое руководство). Новосибирск, 1971. 31 с.
- Титлянова А.А. Чистая первичная продукция травяных и болотных экосистем // Сиб. экол. журн. 2007. № 5. С. 763–770.
- Худяков О.И. Климат генетических горизонтов и его влияние на эмиссию CO₂ в мерзлотных и холодных почвах // Эмиссия и сток парниковых газов на территории Северной Евразии. Пуццино: ОНТИ ПНЦ РАН, 2004. С. 106–110.
- Чимитдоржиева Г.Д. Гумус холодных почв. Новосибирск, 1990. 144 с.
- Шарков И.Н. Совершенствование абсорбционного метода определения выделения CO₂ из почвы в полевых условиях // Почвоведение. 1987. № 1. С. 127–133.
- Bazilevich N.I., Titlyanova A.A. Comparative studies of ecosystem function // Grasslands, system analysis and man. Cambridge, 1980. P. 713–759.
- Houghton R.A., Skole D.L. Carbon // The Earth as transformed by human action. Cambridge, 1990. P. 393–412.
- LULUCF, 2000. LandUse, LandUse Change and Forestry. A Special Report of the IPCC. Cambridge Univ. Press.
- Schlesinger W.H., Andrews J.A. Soil respiration and global carbon cycle // Biogeochemistry. 2000. Vol. 48. P. 7–20.