

УДК 631.423. 6 (571.54)

ЭМИССИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ИЗ ПОСТАГРОГЕННЫХ СТЕПНЫХ И СУХОСТЕПНЫХ ПОЧВ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Э.О. ЧИМИТДОРЖИЕВА, Г.Д. ЧИМИТДОРЖИЕВА

(Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН)

Представлены результаты двухлетних полевых наблюдений за эмиссией CO_2 из постагrogenных черноземов и каштановых почв Тугнуйской котловины Забайкалья. Суммарный показатель потерь углерода из залежных земель выше, чем из пахотных, но ниже чем из целинных.

Ключевые слова: эмиссия, диоксид углерода, черноземы, каштановые почвы, постагrogenные биогеоценозы

В 90-х гг. XX столетия более одной четверти с.-х. земель было заброшено под естественное зарастание. По оценкам Е.И. Панковой и А.Ф. Новикова [9], только в 1990-1995 гг. площадь пахотных земель в России сократилась на 34 млн га. Известно, что при переводе пахотных почв в разряд залежных земель, в ходе естественных сукцессий, как правило, меняется направленность потоков основных биогенных элементов в системе растение - почва - атмосфера: вследствие отсутствия отчуждения растительного материала в виде урожая происходит постепенное восстановление естественного состояния почв и накопление углерода как в почвах, так и в растениях [5]. Самовосстановление заброшенных пахотных угодий можно определить как совокупность естественных природных процессов, проявляющихся в «стремлении» почвенной системы вернуться в исходное, ненарушенное состояние [11].

Актуальность нашего исследования связана с необходимостью инвентаризации основных наземных источников углекислого газа, поскольку вклад экосистем России в устойчивость биосферы и глобального климата, безусловно, значим и в настоящее время недооценен. Особый интерес представляют постагrogenные экосистемы. Процесс перехода пахотных угодий в залежные может служить уникальной природной моделью современного «обратного» преобразования биогеоценозов, когда можно проследить, как происходит «тонкая» корректировка баланса углерода почв, связанная со сменой сукцессии и фитоценозов в направлении к квазиклиматическому. Интенсивность процесса продуцирования углекислого газа в почве количественно определяет одну из расходных составляющих баланса углерода экосистемы, характеризующего функциональное состояние биогеоценоза в целом и в каждый конкретный момент времени. В Забайкалье интенсивность продуцирования CO_2 залежными землями практически не исследована и имеются лишь фрагментарные сведения [6, 7, 10].

Цель работы — количественное определение продуцирования углекислоты из постагрогенных черноземов и каштановых почв Забайкалья и сравнительная оценка с таковой из целинных и пахотных угодий.

Методика

Объектами исследования были 17-летние залежные черноземы маломощные малогумусные легкосуглинистые и каштановые маломощные легкосуглинистые почвы, расположенные в урочище Тарбаганы Западного Забайкалья.

В сухостепных геосистемах Тугнуйской котловины преобладающим типом почв являются каштановые. Почвы каштанового типа располагаются на наиболее инсолируемых формах рельефа и являются самыми теплообеспеченными в Забайкалье. Несмотря на это, их фактическая продуктивность низка вследствие недостаточности влагозапасов [4]. Главная особенность климата сухостепной зоны — еще большее, чем в степи, несоответствие между количеством выпадающих осадков и испаряемостью. В течение года выпадает 180-250 мм осадков, а испаряемость превышает их в два-три раза (340-875 мм; КУ = 0,33-0,55). Каштановые почвы по межгорным понижениям занимают преимущественно южные склоны хребтов, их предгорья, конуса выноса и древние террасы рек с высотными отметками 600-900 м над уровнем моря. Во время холодной, малоснежной и продолжительной зимы почва промерзает на глубину до 250-300 см и находится в мерзлом состоянии 5-7 мес. [8]. Растительность представлена: *Achnathem sibiricum*, *Iris humilis*, *Kochia prostrata*, *Ixeris graminea*, *Heteropappus biennis*, *H. Altaians*, *Stipa kndovii*, *Cymbaria daurica*, *Ribes pulchellum*, *Scorzonera anstriaca*, *Dianthus versicolor*, *Potentilla bitnrca*, *P. acanlis*, *Galatella dahnrica*, *Veronica incana*, *Goniolimon spesiosum*, *Rheum unolulatum*, *Serratidla centanroides*, *Artemisia frigida*. Травостой очень низкий, разреженный и бедный по видовому составу. Степень проективного покрытия составляет 40-50%.

Почвы черноземного типа на территории Бурятии имеют ограниченное распространение по сравнению с каштановыми. Условия формирования забайкальских черноземов отличаются от восточноевропейских «эталонов» суровостью климата и режимом осадков [3]. Резкоконтинентальный климат исследуемого региона в почвообразовательных процессах черноземов проявляется в первую очередь через жесткий гидротермический режим. Почвы находятся в промерзшем состоянии более 5-7 мес. и промерзают на глубину до 240-270 см. За год выпадает 300-350 мм осадков, коэффициент увлажнения в весенний и раннелетний периоды в степях Бурятии крайне низкий (КУ = 0,13-0,29), а в период летнего увлажнения (июль-август) достигает единицы. Такого резкого контраста увлажнения не наблюдается в других степных районах. Степи Бурятии не представляют собой единого массива, они занимают отдельные участки межгорных депрессий. Черноземы приурочены к подгорным частям и склонам котловин, ориентированных на север [8]. Растительность их чрезвычайно пестра по видовому составу и представлена следующими видами: *Artemisia scoparia*, *Veronica incana*, *Ixeris graminea*, *Crepis tectorus*, *Allium senescene*, *Scutellaria scordiifolia*, *Achillea asiatica*, *Taraxacum sp.*, *Visia amoena*, *Veronica incana*, *Linaria acutiloba*, *Melilotoides ruthenicus*, *Convolviliis biciispidatiis*, *Achnathem sibiricum*, *Elisanthe aprica*, *Cursium arvense*, *Bromopsis sibirica*, *Nonea rossica*. Степень проективного покрытия не превышает 50-60%.

Эмиссию CO₂ определяли в режиме оперативного мониторинга с интервалом 7-10 сут. в вегетационные сезоны 2008-2009 гг. в 3-кратной повторности абсорбционным методом в модификации И.Н. Шаркова [12]: использовали полипропиленовые сосуды (d = 10 см, h = 15 см) с крышками. Сосуд-изолятор врезается в почву на

глубину 7 см. В месте врезания сосуда-изолятора надземная часть растений срезается на уровне почвы. Внутри ставится чашечка ($d = 5$ см) с 10 мл 1 н. NaOH. Сосуд плотно закрывается крышкой на 24 ч, после чего чашечка извлекается и на месте титруется раствором 0,2 н. HCl по фенолфталеину. Выделенное почвой за экспозицию количество CO_2 рассчитывается с учетом холостого титрования (щелочь на период экспозиции помещается в сосуд без почвы объемом, равным объему свободного пространства в рабочем сосуде). Суммарные выделения CO_2 за вегетацию рассчитывали путем линейного интерполирования. Одновременно производили измерение температуры и влажности почвы в слое 0-20 см.

Физико-химические свойства почв определены общепринятыми в почвоведении методами [1,2].

Результаты и их обсуждение

Исследуемые залежные черноземы маломощные — 0-28 см; малогумусны — 4,9% с резким убыванием гумуса вниз по профилю, легкого гранулометрического состава, с суммой поглощенных оснований 24,5 мгэкв/100 г почвы. Для верхних горизонтов характерна нейтральная реакция среды pH 6,7, а в средней и нижней частях профиля — слабощелочная и щелочная реакция pH 7,4-8,3. Целинные и пахотные почвы характеризуются содержанием гумуса — 5,3 и 4,1% соответственно, суммой поглощенных оснований 22,6 в агрогенных и 29,7 мг-экв/100 г почвы на целине.

Постагрогенные каштановые почвы характеризуются небольшой мощностью гумусового горизонта 0-24 см; малогумусностью — 1,8% и незначительной суммой поглощенных оснований— 16,1 мг-экв/100 г почвы. Для верхних горизонтов характерна реакция среды, близкая к нейтральной pH 6,9, а в средней и нижней частях профиля pH 7,4-8,4. Содержание гумуса, его мощность, сумма поглощенных оснований в исследуемых почвах убывает в ряду целина>залежь>пашня (таблица).

Известно, что продуцирование диоксида углерода почвами неодинаково в различные периоды вегетации и в зависимости от сочетания погодных условий, видового состава и густоты растительного покрова, физиологического состояния растений и микробных сообществ имеет ярко выраженную динамику. Наблюдения за эмиссией CO_2 в 2008 г. показали, что в начале периода наблюдений скорость продуцирования углекислоты на всех экспериментальных площадках низка, что обусловлено глубоким промерзанием почв и медленным весенним его прогреванием. С повышением температуры в течение вегетации эмиссия CO_2 постепенно повышалась (рис. 1). Динамика дыхания почв отражается двухвершинной (M-образной) кривой с максимумом в конце июня и во 2-й декаде июля. Постагрогенные почвы, как правило, на протяжении всего вегетационного периода характеризовались более высокой степенью продуцирования углекислоты, чем пахотные, но меньшей, чем целинные, что, на наш взгляд, связано с различиями в качестве и количестве органического вещества, отсюда и в скорости минерализации.

Начало вегетационного периода характеризуется минимальными показателями дыхания: на каштановой целине в пределах 4,0-6,4, на залежи 3,61-4,7, на пашне 1,9-2,3; на залежном черноземе 4,75-10,2, целине 9,4-13,0, пашне 2,8-3,9 г $CO_2/m^2/сут.$ Этому периоду характерна влажность почвы 10,1-7,1% на черноземах и 5,3-3,2% на каштановых почвах, температура почвы в слое 0-20 см соответственно изменялась в пределах 6,7-9 и 10,4-12,2°C (рис. 2).

Далее, в первой декаде июня, наблюдается прогревание верхних слоев почвы, сопровождаемое увеличением эмиссионной составляющей CO_2 на каштановой це-

Основные физико-химические показатели почв

Почва	Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	pH _{водн.}	Поглощенные основания			Частиц <0,01, %
					Ca	Mg	S	
					мгэкв на 100 г почвы			
Каштановая, пашня	A _{глуб}	0–24	1,0	6,9	8,8	3,3	12,1	20,5
	AB	24–34	0,8	7,3	8,5	3,1	11,6	18,0
	V _K	34–67	0,45	7,9	10,0*		10,0	15,4
	V _K C _K	67–104	0,15	8,5	8,0*		8,0	10,8
	C _K	104–200	–	8,6	8,0*		8,0	9,2
Каштановая, залежь	A	0–24	1,8	6,9	12,6	3,5	16,1	21,6
	AB	24–37	1,1	7,2	8,1	3,2	11,3	19,2
	B	37–56	0,6	7,4	10,0	3,1	13,1	14,8
	V _K C _{K1}	56–84	0,1	7,8	14,0*		14,0	12,1
	V _K C _{K2}	84–112	0,07	8,2	14,0*		14,0	10,6
C _K	112–160	–	8,4	10,0*		10,0	8,1	
Каштановая, целина	A	0–26	2,3	6,7	14,6	3,9	18,5	27,5
	AB	26–34	1,4	6,9	13,9	3,3	17,3	21,7
	B	34–60	0,7	7,2	10,8	3,1	13,9	19,3
	V _K	60–78	0,2	8,0	16*		16	15,5
	C _K	78–150	–	8,4	14*		14	15,3
Чернозем, пашня	Aпаш	0–20	4,1	6,7	18,1	4,5	22,6	25,9
	A _п B	20–55	2,2	7,4	18,6	3,7	22,3	23,5
	V _K	55–85	0,4	8,3	16,0*		16,0	17,9
	V _K C _K	85–145	–	8,3	13,0*		13,0	16,2
Чернозем, залежь	A ₁	0–28	4,9	6,9	20,0	4,5	24,5	28,5
	B	28–52	1,6	6,9	18,0	2,6	20,6	26,2
	V _K	52–97	0,3	7,6	18,0*		18,0	18,0
	V _K C _K	97–160	–	8,4	16,0*		16,0	16,0
Чернозем, целина	A	0–33	5,3	6,7	24,9	4,8	29,7	29,7
	B	33–35	1,4	7,0	20,6	4,0	24,6	21,3
	V _{K1}	50–75	0,4	7,9	20,0*		20,0	18,5
	V _{K2}	75–137	0,2	8,2	22,0*		22,0	17,8
	C _K	137–170	–	8,3	18,0*		18,0	16,7

* Емкость поглощения; pH воды, которая использовалась в анализах, равна 6,7.

лине до 6,4-12,9, залежи — до 5,5-7,4, на пашне — до 3,6-6,7; на черноземе целинном — до 12,5-19,4, на залежном — до 10,5-15,0; на пашне — до 5,6-6,3 г CO₂/м²/сут.

Максимальное значение среднесуточной эмиссии CO₂ зафиксировано в конце июня, в период совпадения оптимальных температур и влажности, достигая порядка 24,4 на целинном черноземе, 22,9 на залежном и 19,1 на пахотном; на каштановой целине — 22,0, залежи — 17,5, на пашне — 10,6 г CO₂/м²/сут. В июле отмечается второй пик эмиссии CO₂: на каштановой целине — 21,3, на залежи — 19,2, на пашне 10,2; на черноземе целине — 22,5, на залежи — 20,9, на пашне 17,2 г CO₂/м²/сут. Такое различие величин эмиссии углекислого газа из почв по угодиям в один период наблюдений под разной растительностью, при прочих равных погодно-климатических

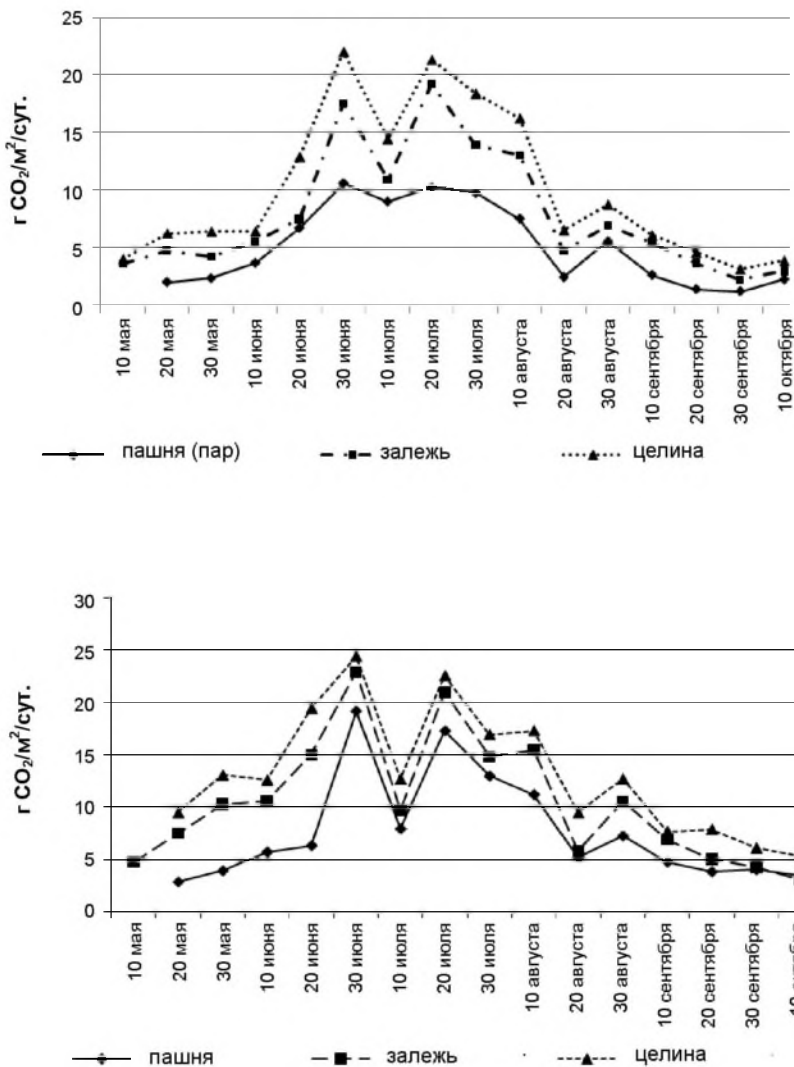


Рис. 1. Динамика эмиссии CO₂ из черноземов и каштановых почв за вегетационный сезон 2008 г.

условиях, по-видимому, объясняется тем, что решающее значение имеет общий запас живой биомассы и характер ее пространственного распределения, а также гумусированность.

Во второй половине августа начинается заметное снижение интенсивности дыхания: на целинном черноземе скорость эмиссии составляет 9,4, на залежи — 5,8, на пашне — 5,1; на каштановой целине — 6,5, на залежи — 4,7, на пашне

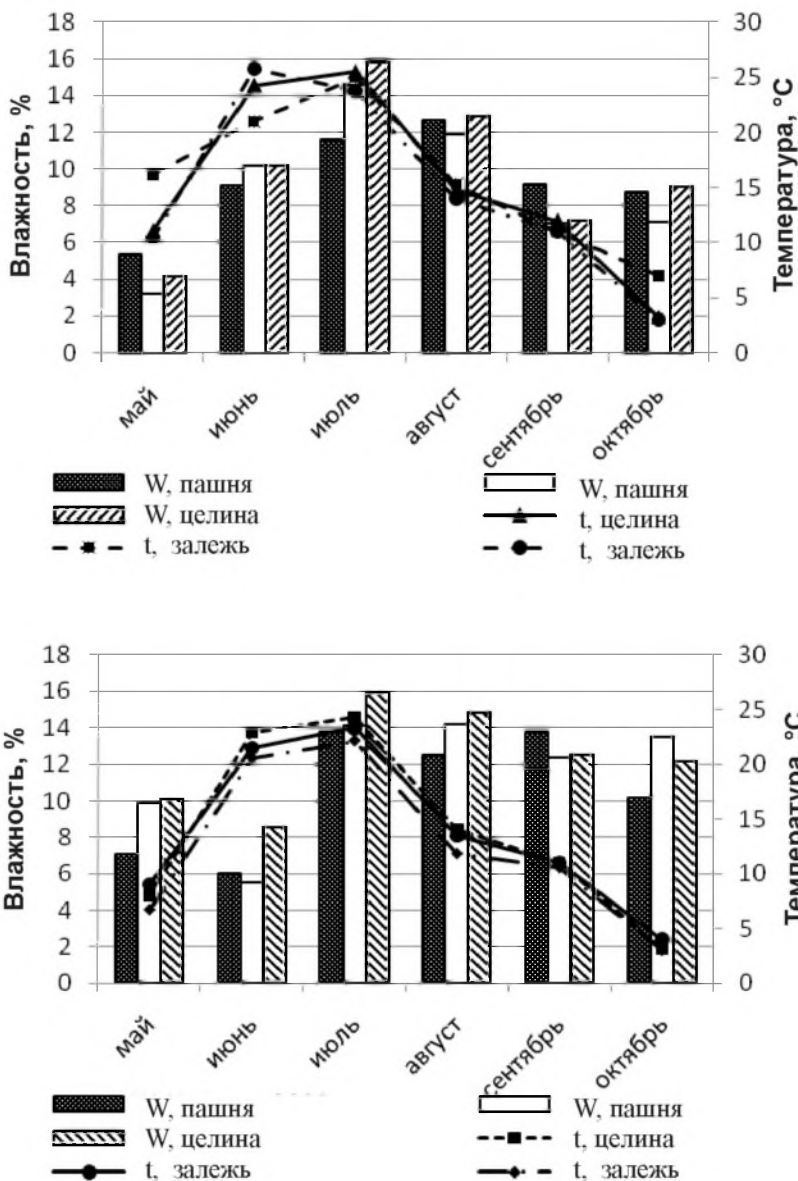


Рис. 2. Влажность (w) и температура (t) черноземов и каштановых почв за 2008 г.

2,4 г CO₂/м²/сут., что объясняется снижением температуры почвы. Цифры на типовом уровне почв свидетельствуют о разном содержании гумуса в почвах и по угодиям. На фоне общей тенденции снижения эмиссии CO₂ к концу вегетационного периода в 3-й декаде августа замечен незначительный всплеск продуцирования углекислоты, что может быть связано с отмиранием и быстрым разложением растительных остатков на поверхности и в самой почве. Далее последовал спад эмиссии, что связано с постепенным затуханием биологических процессов в почве.

Динамика эмиссии CO_2 за вегетационный сезон 2009 г. носила нарастающий характер, что отражается одновыпуклой кривой с максимумом в середине вегетационного сезона и постепенным убыванием с наступлением холодных сезонов (рис. 3).

Так, в мае и 1-й декаде июня количество продуцируемой углекислоты целинным черноземом колеблется в пределах 4,6-15,1, постагрогенным — 3,6-11,5, на пашне — 2,5-9,9; на каштановой целине — 3,4-12,9, залежи — 2,3-8,9, на пашне — 1,2-13,7 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут}$.

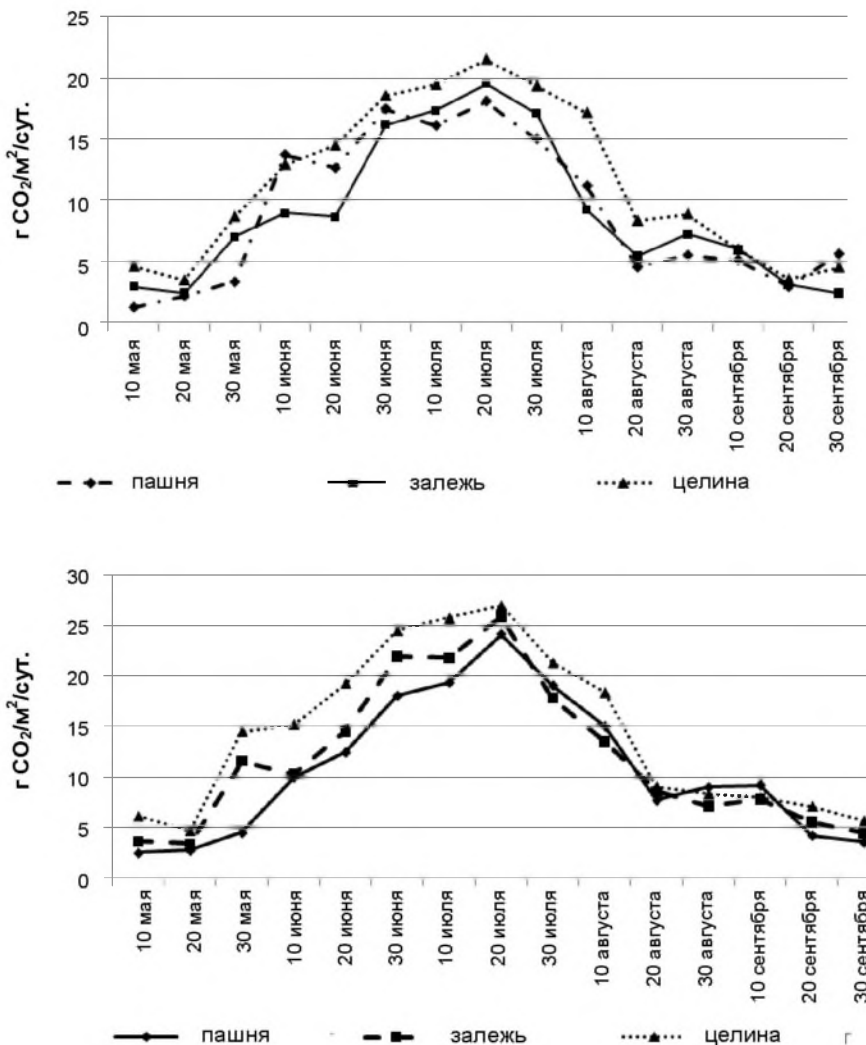


Рис. 3. Динамика эмиссии CO_2 из черноземов и каштановых почв за вегетационный сезон 2009 г.

Если динамика CO_2 в 2008 г. носила двухвершинный характер, то в 2009 г. — плавный одновершинный, что находит объяснение во флуктуации температур.

До середины июля идет плавное нарастание эмиссионной составляющей. На всех экспериментальных площадках максимум отмечался в середине вегетации и совпадал с выпадения осадков в этот период. В это время создаются благоприятные условия для активной деятельности почвенного микробного комплекса и усиления корневого дыхания, слой почвы 0-20 см прогревается до 23-25°C, полевая влажность почвы после выпадения осадков увеличивается до 11,4 на каштановых почвах и до 17,8% на черноземах (рис. 4), что и отражается высокими показателями эмиссии углекислоты из исследуемых почв. Здесь наблюдаются наибольшие значения про-

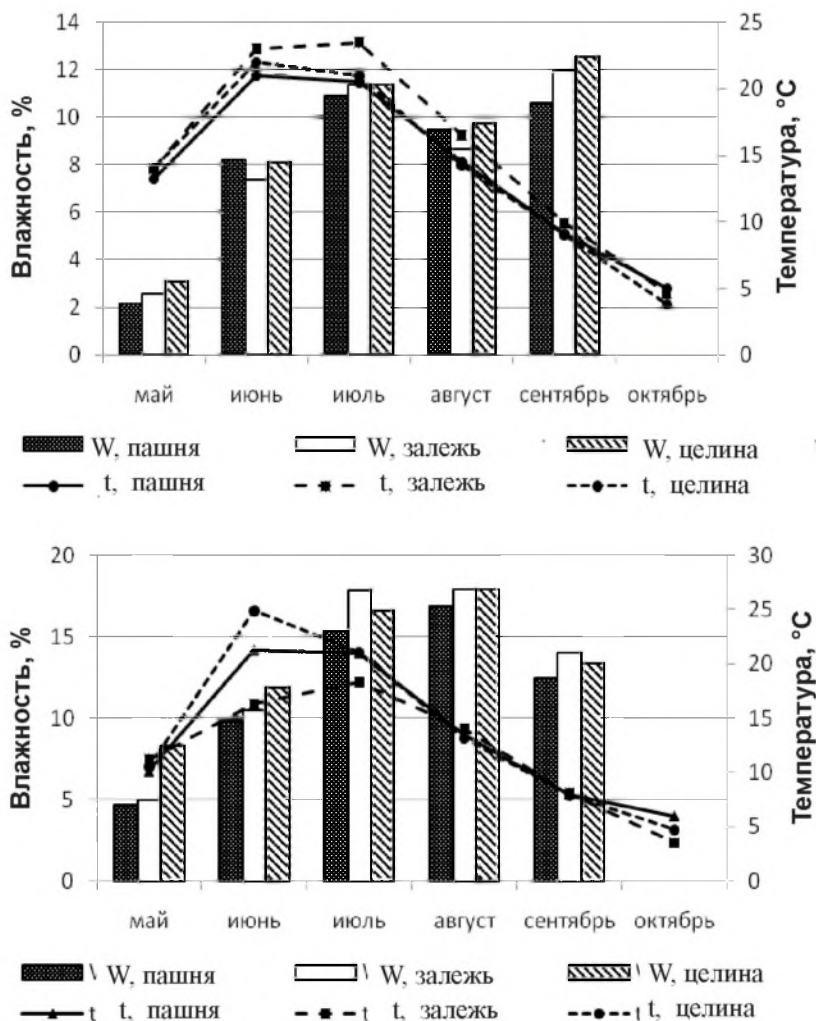


Рис. 4. Влажность (w) и температура (t) черноземов и каштановых почв за 2009 г.

дуцирования углекислоты за весь вегетационный период — на целинном черноземе 26,9 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут.}$, на залежном — 25,8, на пашне — 24,1; на каштановой целине — 21,5, на залежи — 19,5, на пашне — 18,0 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут.}$ По мере снижения температуры почвы интенсивность дыхания к концу периода активной вегетации растений значительно падала. В августе этот показатель уменьшался на целине от 17,1 до 8,3 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут.}$, на залежи — от 9,2 до 5,4, на пашне — 11,1-4,5; от 18,3-8,3 на целине, от 13,4 до 7,1 на залежи, на пашне — от 15,0 до 9,0 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут.}$ Далее следует значительный спад эмиссии, на каштановой залежи этот показатель уменьшается от 5,9 до 2,3 и на залежном черноземе — от 7,8 до 4,4 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут.}$ и находится в этих пределах до октября.

Суммарные потери углерода в виде углекислоты из исследуемых почв дают оценку их вклада в поступление CO_2 в атмосферу. Так, потеря диоксида углерода из почвы за вегетационный период 2008 г. составила на целине 519,1 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут.}$, на залежном черноземе — 446,5, на пашне — 306,9; на каштановой целине — 430,1, на залежи — 334,8, на пашне — 204,3 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут.}$ (рис. 5). Суммарное продуцирование

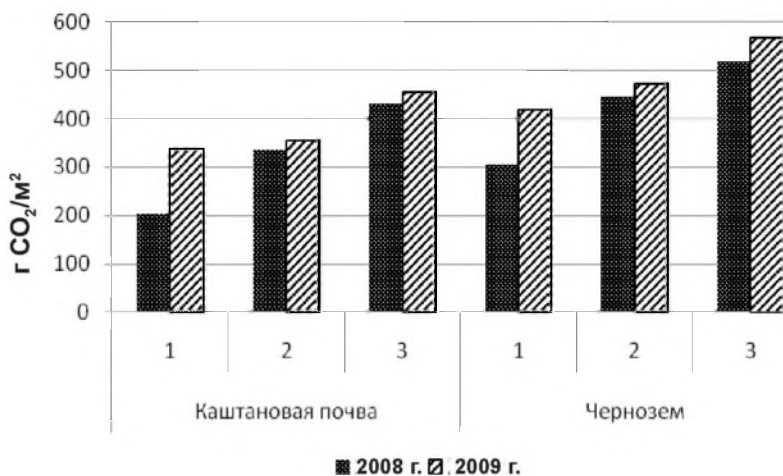


Рис. 5. Суммарное продуцирование углекислоты из черноземов и каштановых почв за вегетационный сезон 2008-2009 гг.: 1 — целина, 2 — залежь, 3 — пашня

CO_2 из почв за вегетационный период 2009 г. было значительно выше, чем в 2008 г., и составило на черноземе целине 568,3 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут.}$, на залежи — 473,9, на пашне — 418,4; на каштановой целине — 454,6, на залежи — 356,5, на пашне — 337,6 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут.}$ Минимальная величина суммарной за вегетацию эмиссии CO_2 была зарегистрирована на агрогенных почвах, максимальная — на эталонных участках. На залежных экспериментальных участках величина суммарной за вегетацию эмиссии CO_2 была больше, чем на пахотных. Это объясняется отсутствием на залежах отчуждения растительного материала в виде урожая; зарастание брошенных пахотных угодий приводит к постепенному восстановлению естественного состояния почв и накоплению углерода, и почвенная система в ходе естественных сукцессий развивается по направлению к квазиравновесному профилю, близкому к целинному эталону, при котором меняется направленность физических, химических и биологических процессов, что, в свою очередь, отражается на интенсивности продуцирования углекислоты постагрогенными биогеоценозами.

Выводы

1. Дыхание почвы значительно изменчиво во времени и в пространстве. Интенсивность эмиссии CO₂ зависит от типа почвы и от гидротермических условий. Пики эмиссии CO₂ совпадали с повышением температуры и влажности; с июня до начала августа, в условиях недостатка легкодоступной влаги, с режимом увлажнения, и далее ход кривой продуцирования углекислоты повторял ход кривой температуры.

2. В весенне-летний период эмиссия CO₂ из целинных почв была выше, чем таковая из залежных и пахотных почв, что объясняется более богатым видовым составом трав, их более высокими надземными и подземными массами и как следствие этого значительной долей корневого дыхания в общем потоке CO₂ из почвы под естественной растительностью.

3. Летние потоки эмиссии углекислоты были значимо выше таковых в осенний и весенний сроки. А осенние потоки превышали весенние только в почвах агроценозов, что, по-видимому, связано с поступлением и активным разложением свежего растительного материала на пашне в этот период.

4. Суммарный показатель потерь углерода из почв в виде CO₂ из залежных земель был значительно выше, чем из пахотных почв, но ниже, чем из целинных.

Библиографический список

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975.
2. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970.
3. *Герасимова М.П.* География почв России. М.: Изд-во МГУ, 2007.
4. *Пицгенов Н.А.* Агрономическая характеристика почв Бурятии. Улан-Удэ, 1972.
5. *Курганова П.Н., Ермолаев А.М., Лопес де Гереню В.О. и др.* Пулы и потоки углерода в залежных землях Подмосковья / Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв. М.: Наука, 2006.
6. *Лаврентьева П.Н., Убугунова В.П., Убугунов Л.Л. и др.* Выделение CO₂ с поверхности почв различных экосистем Иволгинской котловины (западное Забайкалье) // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова, 2009. № 1. С. 27-35.
7. *Малханова Е.В., Егорова Р.А., Чимитдоржиева Г.Д.* Сезонная динамика эмиссии CO₂ мерзлотными почвами Забайкалья // Агрохимия, 2008. № 2. С. 66-69.
8. *Ногина Н.А.* Почвы Забайкалья. М.: Наука, 1964.
9. *Панкова Е.П., Новикова А.Ф.* Деградиционные процессы на сельскохозяйственных почвах России // Почвоведение, 1988. № 7. С. 164-174.
10. *Помазкина Л.В., Лубнина Е.В., Репина О.В.* Эмиссия CO₂ из разных типов почв лесостепи Прибайкалья // Почвоведение, 1998. № 7.
11. *Сазонов С.Н., Манучарова Н.А., Горленко М.В., Умаров М.М.* Естественное восстановление микробиологических свойств дерново-подзолистой почвы в условиях залежи // Почвоведение, 2005. № 5. С. 575-580.
12. *Шарков П.Н.* Определение интенсивности продуцирования CO₂ почвой адсорбционным методом // Почвоведение, 1984. № 7. С. 136-143.

Рецензент — д. б. н. Н.Н. Игнатьев

SUMMARY

Results of two-year field observation data on CO₂ emission from both black earth and chestnut soils of Tugnuï kettle in Transbaikalia are provided in the article. Total carbon loss rate from fallow land proves to be higher than that of arable land, but lower than from virgin land.

Key words: emission, carbon dioxide, black soils, chestnut soils, post-agrogenic bio-geo-ecosystems.

Чимитдоржиева Эржена Очировна — Эл. почта: ioeb f/ biol.bsnet.ru

Чимитдоржиева Галина Доржиевна — д. с. - х. н. Тел. (3012)43-37-35 Эл. почта: erzhenach@mail.ru