

*На правах рукописи*

Чимитдоржиева Эржена Очировна

**ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ЧЕРНОЗЕМАХ И КАШТАНОВЫХ  
ПОЧВАХ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ И ЭМИССИЯ CO<sub>2</sub>**

03.02.13 – почвоведение

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Улан-Удэ  
2011

Работа выполнена в лаборатории биохимии почв в Институте общей и экспериментальной биологии СО РАН.

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
Чимитдоржиева Галина Доржиевна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук,  
Пигарева Нина Николаевна

кандидат сельскохозяйственных наук,  
Алтаев Александр Архипович

Ведущая организация: Учреждение Российской Академии Наук  
Институт леса им. В.Н. Сукачева

Защита состоится « 9 » июня 2011 г. в « 15 » час. на заседании диссертационного Совета Д. 003.028.01 в Институте общей и экспериментальной биологии Сибирского Отделения РАН по адресу: 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6; факс (3012) 433034; e-mail: [ioeb@biol.bscnet.ru](mailto:ioeb@biol.bscnet.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Бурятского научного центра СО РАН и на сайте <http://igaeb.bol.ru>

Автореферат разослан « 6 » мая 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
д-р биол. наук



М.Г. Меркушева

## Введение

**Актуальность.** В глобальном масштабе органическое вещество почвы представляет собой главное звено в углеродном цикле из-за своих огромных запасов. В то же время почвенный покров, находящийся в контакте с атмосферой, литосферой и наземной фитосферой, занимает ключевую позицию в биосферном круговороте газов на континентах. Известно, что диоксид углерода атмосферы примерно на 90 % имеет почвенное происхождение (Добровольский, 2003; Добровольский, Никитин, 1990). Почвенное дыхание представляет собой суммарный поток двух основных компонентов: дыхание корней и дыхание почвенной микрофлоры (Кудеяров, Курганова, 2005). По своему вкладу в глобальный сток и накопление углерода травяные экосистемы не только сопоставимы, но и превосходят лесные (Мокроносов, 1999; Тишков, 2006).

Степные экосистемы Западного Забайкалья являются ландшафтообразующими, интенсивно используемыми в сельскохозяйственном производстве. Сохранение и повышение их биопродуктивности должно быть обосновано комплексом средообразующих факторов, в т.ч. накоплением и распределением углерода в системе почва – растение, а также оценкой размеров эмиссии  $\text{CO}_2$  из почв.

Запасы педогенного углерода и эмиссия углекислоты из черноземов и каштановых почв Западного Забайкалья, в т.ч. Тугнуйской котловины, практически не изучены и имеются лишь отдельные сведения по разным типам почв (Чимитдоржиева, 1990; Лаврентьева, и др., 2009; Малханова, 2007).

**Цель работы:** Выявить количественные и качественные особенности формирования запасов углерода в степных экосистемах Тугнуйской котловины и интенсивность эмиссии  $\text{CO}_2$  из черноземов и каштановых почв.

**В задачи исследования** входило:

1. Определить запасы углерода в черноземах и каштановых почвах Западного Забайкалья.
2. Оценить вклад почвенных карбонатов и углерода микробной биомассы в эмиссию  $\text{CO}_2$ .
3. Изучить интенсивность эмиссии  $\text{CO}_2$  из степных почв.

**Защищаемые положения:**

- Общие педогенные запасы углерода в степных экосистемах незначительны при разных соотношениях его органических и неорганических форм.

- Углерод почвенных карбонатов и микробной биомассы вносят существенный вклад в трансформационный поток углекислоты.

- Черноземы и каштановые почвы региона характеризуются низкими показателями эмиссии  $\text{CO}_2$ .

**Научная новизна.** Впервые для черноземов и каштановых почв Западного Забайкалья определены педогенные резервуары углерода, изучена многолетняя динамика эмиссии  $\text{CO}_2$  и оценен количественный вклад углерода почвенных карбонатов и микробной биомассы в эмиссию  $\text{CO}_2$ .

**Теоретическая и практическая значимость.** Данные по оценке педогенных резервуаров углерода в степных экосистемах, а также  $S_{\text{карб}}$  и  $S_{\text{мб}}$  в трансформационном потоке эмиссии углекислоты будут использованы при балансовых расчетах углерода. Полученные показатели по эмиссии  $\text{CO}_2$  могут быть использованы в централизованной базе данных «Дыхание почв России». Результаты исследований могут применяться при мониторинге и разработке мероприятий по оптимальному землепользованию черноземов и каштановых почв.

**Апробация работы.** Результаты и основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных, всероссийских и региональных конференциях: «Экологические и правовые проблемы водо- и землепользования» (Улан-Удэ, 2008), «Актуальные аспекты современной микробиологии» (Москва, 2008), «Молодежь и наука Забайкалья» (Чита, 2008), «Почвы и продовольственная безопасность России» (Санкт-Петербург, 2009), «Растительные ресурсы: опыт, проблемы и перспективы» (Бирск, 2009), «Вклад молодых ученых в развитие инноваций аграрной науки» (Москва, 2009), «Климат, экология, сельское хозяйство Евразии» (Иркутск, 2009), «Актуальные проблемы экологии, морской биологии и биотехнологии» (Владивосток, 2010), «Биоразнообразие: глобальные и региональные процессы» (Улан-Удэ, 2010), конкурсе научно-популярных докладов «Занимательная наука» (Улан-Удэ, 2009).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 13 работ, в т.ч. 3 статьи в журналах, рекомендуемых ВАК РФ.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация изложена на 141 страницах компьютерного набора, состоит из введения, 6 глав, основных выводов, содержит 16 таблиц, 28 рисунков. Список литературы включает 270 наименований, в том числе 19 работ зарубежных авторов.

**Личный вклад автора.** Диссертация является обобщением личных материалов автора, полученных в результате полевых и экспериментальных лабораторных исследований в 2008-2010 гг. в Институте общей и экспериментальной биологии СО РАН.

### **Глава 1. Условия почвообразования в Тугнуйской котловине**

По литературным источникам в главе дана характеристика основных факторов почвообразования Западного Забайкалья: рельефа, почвообразующих пород, климата, растительности.

### **Глава 2. Объекты и методы исследований**

Работа выполнена в 2008–2010 гг. в Тугнуйской котловине (Мухоршибирский район, Республика Бурятия). Объектами исследований являлись черноземы и каштановые почвы, находящиеся под различными типами землепользования (целина, залежь, пашня). Район исследования расположен в суббореальном поясе в Центральной лесостепной и степной области, относится к Забайкальской провинции промытых средне- и маломощных черноземов и к Забайкальской провинции темно-каштановых и каштановых промытых почв (Почвенно-географическое..., 1962). Согласно почвенному районированию (Макеев и др., 1968), территория входит в Тугнуйско-Бичурский котловинный почвенный округ.

Физико-химические свойства почв определяли общепринятыми методами (Аринушкина, 1970; Агрохимические ..., 1975).

Углерод гумуса почвы определяли микрохромовым методом Тюрина (Аринушкина, 1970); фракционный состав гумуса – методом И.В. Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой (1975).

Эмиссию  $\text{CO}_2$  изучали в режиме оперативного мониторинга с интервалом 7–10 сут в вегетационные сезоны 2008–2010 гг. в трехкратной повторности абсорбционным методом в модификации И.Н. Шаркова (1987). 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 часа, после чего чашечка извлекается и на месте титруется раствором 0,2 н. HCl по фенолфталеину. Выделенное почвой за экспозицию количество  $\text{CO}_2$  рассчитывается с учетом холостого титрования (щелочь на период экспозиции помещается в сосуд без почвы объемом, равным объему свободного простран-

ства в рабочем сосуде. Одновременно с определением эмиссии углекислоты производили измерение температуры и влажности почвы в слое 0-20 см. Интенсивность выделения CO<sub>2</sub> в модельном опыте определяли абсорбционным методом в модификации И.Н. Шаркова (1987). Суммарные потери углерода из почвы в виде CO<sub>2</sub> за период наблюдения оценивались с помощью метода линейного интерполирования.

Запасы С-микробной биомассы исследовали регидратационным методом (Благодатский и др., 1987); протеолитическую и целлюлозолитическую активности – методом аппликации (Хазиев, 1990) с закладкой в 5-кратной повторности фотопленки и льняного полотна в слой почвы 0-20 см с экспозицией 10 и 30 суток соответственно.

Чистая первичная продукция (NPP) определялась по методике А.А. Титляновой (1979), в т.ч. надземная (ANP) и подземная (BNP). Химический состав фитомассы определен на элементном анализаторе CHNS/O Series II фирмы Perkin Elmer.

Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена в среде электронной таблицы Microsoft Excel 2003 из пакета Microsoft Office.

### Глава 3. Характеристика почв

Черноземам характерны укороченность гумусового профиля (25–33 см), малогумусность (4,1–5,3%), легкий гранулометрический состав, небольшая сумма поглощенных оснований (22,6–29,7 мг•экв/100 г почвы), где основная роль принадлежит кальцию. Для верхних горизонтов характерна реакция среды, близкая к нейтральной (рН=6,7–6,9), а в средней и нижней частях профиля наличие карбонатов обуславливает слабощелочную / щелочную реакцию почвенного раствора (табл. 1).

Таблица 1. Основные физико-химические показатели почв

Угодье, № разреза	Горизонт	Глубина, см	Частицы размером <0,01 мм, %	рН водн	Поглощенные основания			Гумус, %	CO <sub>2</sub> карбонатов, %
					Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Σ		
					мг•экв на 100г почвы				
<b>Черноземы</b>									
Целина, P. I	A <sub>1</sub>	0-33	29,7	6,7	24,9	4,8	29,7	5,3	-
	B	33-50	21,3	7,0	20,6	4,0	24,6	1,4	-
	Bк <sub>1</sub>	50-75	18,5	7,9	20,0*		20,0	0,4	1,22
	Bк <sub>2</sub>	75-137	17,8	8,2	22,0*		22,0	0,2	1,41
	Ск	137-170	16,7	8,3	18,0*		18,0	-	1,17

Паш- ня, P.3	A <sub>пах</sub>	0-20	25,9	6,7	18,1	4,5	22,6	4,1	-
	A <sub>1</sub> B	20-40	23,5	7,4	18,6	3,7	22,3	2,2	-
	Bк	40-85	17,9	8,3	16,0*		16,0	0,4	1,09
	Cк	85-145	16,2	8,3	13,0*		13,0	-	1,41
За- лежь, P.2	A <sub>1</sub>	0-28	28,5	6,9	20,0	4,5	24,5	4,9	-
	B	28-52	26,2	6,9	18,0	2,6	20,6	1,6	-
	Bк	52-97	18,0	7,6	18,0*		18,0	0,3	3,33
	Cк	97-160	16,0	8,4	16,0*		16,0	-	3,15
Каштановые почвы									
Цели- на, P.4	A <sub>1</sub>	0-26	27,5	6,7	14,6	3,9	18,5	2,3	-
	A <sub>1</sub> B	26-34	21,7	6,9	13,9	3,3	17,3	1,4	-
	B	34-70	19,3	7,2	10,8	3,1	13,9	0,7	-
	Bк	70-88	15,5	8,0	16,0*		16,0	0,2	1,59
	Cк	88-150	15,3	8,4	14,0*		14,0	-	3,76
Паш- ня, P.6	A <sub>пах</sub>	0-24	20,5	6,9	8,8	3,3	12,1	1,0	-
	A <sub>1</sub> B	24-34	18,0	7,3	8,5	3,1	11,6	0,8	-
	Bк <sub>1</sub>	34-67	15,4	7,9	10,0*		10,0	0,45	1,41
	Bк <sub>2</sub>	67-104	10,8	8,5	8,0*		8,0	0,15	1,31
	Cк	104-200	9,2	8,6	8,0*		8,0	-	0,93
За- лежь, P.5	A <sub>1</sub>	0-24	21,6	6,9	12,6	3,5	16,1	1,8	-
	A <sub>1</sub> B	24-37	19,2	7,2	8,1	3,2	11,3	1,1	-
	B	37-56	14,8	7,4	10,0	3,1	13,1	0,6	-
	Bк <sub>1</sub>	56-84	12,1	7,8	14,0*		14,0	0,1	3,56
	Bк <sub>2</sub>	84-112	10,6	8,2	14,0*		14,0	0,07	2,53
	Cк	112-160	8,1	8,4	10,0*		10,0	-	1,97

Примечание: \*емкость поглощения

Каштановым почвам, функционирующим в условиях более жесткого режима увлажнения, свойственна незначительная мощность горизонта А (24–26 см). Легкий гранулометрический состав определяет низкое содержание гумуса (1,0–2,3%) и низкую емкость катионного обмена. В поглощающем комплексе доминируют катионы кальция, с глубиной по профилю часто возрастает доля магния.

#### Глава 4. Запасы органического углерода

В общих запасах углерода планеты почвам принадлежит существенная роль. Почвы являются главным резервуаром стока углерода на континенте. Главными составляющими почвенного C<sub>орг</sub> являются углерод гумуса (C<sub>гум</sub>), чистой первичной продукции (C<sub>ров</sub>) и микробной биомассы (C<sub>мб</sub>).

*Характеристика первоисточников гумуса.* В разных экологических условиях интенсивность фотосинтетической деятельности различают-

ся. Известно, что при постоянном дефиците влаги и элементов питания корни сухостепной растительности значительны.

Максимальные размеры чистой первичной продукции отмечены на целинных почвах (табл. 2). Во всех сообществах в формировании чистой первичной продукции принимает преимущественное участие подземная фитомасса.

Отмечено значительное содержание азота в биомассе растений. При этом корневая масса растений накапливает азота несколько больше, чем надземная. Несмотря на это неблагоприятный гидротермический режим снижает интенсивность трансформации органического вещества.

Таблица 2. Характеристика растительных остатков, поступающих в почву

Угодье	Растительная ассоциация, агроценоз	Продукция, кг/м <sup>2</sup> ·год			BNP ANP	C	N	C:N
		NPP	ANP	BNP		% на воздушно-сухое вещество		
Черноземы								
Целина	Злаково-разнотравная	1,34	0,11	1,23	10,9	<u>42,4*</u> 45,0	<u>2,1</u> 2,2	<u>20,1</u> 20,4
Залежь	Польно-злаково-разнотравная	1,19	0,12	1,08	8,9	<u>32,1</u> 47,7	<u>2,0</u> 2,3	<u>16,1</u> 20,7
Пашня	Яровая пшеница	0,33	0,08**	0,24	2,8	<u>35,6</u> 31,3	<u>2,4</u> 1,8	<u>14,8</u> 17,3
Каштановые почвы								
Целина	Польно-разнотравно-злаковая	1,47	0,06	1,41	23,5	<u>40,3</u> 41,7	<u>2,1</u> 2,4	<u>19,2</u> 17,4
Залежь	Злаково-разнотравно-полюнная	1,06	0,07	0,99	14,7	<u>37,78</u> 42,40	<u>1,9</u> 2,2	<u>19,8</u> 19,3
Пашня	Яровая пшеница	0,27	0,08**	0,19	2,5	<u>36,58</u> 30,34	<u>1,5</u> 1,3	<u>24,4</u> 23,1

Примечание: \*над чертой – надземная масса, под чертой – подземная,

\*\* стерневая масса

Вместе с растительными остатками в целинный чернозем ежегодно поступает значительное количество углерода. Если сравнивать продуктивность изучаемых экосистем с таковой других регионов, то она низка и как отличительной чертой выступает соотношение BNP/ANP, где эти показатели значительны (10,9 и 23,5), которые подчеркивают большее развитие корней. Вместе с растительными остатками в целинный чернозем ежегодно поступает примерно 0,06 кг С/м<sup>2</sup> углерода, в залежный – 0,05, пахотный – 0,01. Поступление углерода вместе с растительным



опадом в целинную каштановую почву составляет – 0,06, в постагрогенную – 0,04, на агрогенную – 0,01 кг С/м<sup>2</sup>. Таким образом, в постагрогенных системах идет интенсивное накопление углерода, в целинных – наблюдается состояние динамического равновесия, в агрогенных – большая часть углерода выносятся вместе с урожаем зерновых.

*Гумус как резервуар органического углерода.* Педосфера в циклах круговорота углерода занимает особое место, так как именно здесь формируется промежуточный и долговременный склад органического вещества, в котором сконцентрирована солнечная энергия, прошедшая через процесс фотосинтеза (Корсунов, Красеха, 2010).

**Черноземы.** Состав гумуса черноземов отличается преобладанием ГК (Сгк:Сфк>1), значительной долей гумина (до 45%). Подвижная фракция ГК присутствует в почвах в малых количествах (6-13 % от суммы ГК), для нее характерно уменьшение содержания в горизонте В. В составе гуминовых кислот преобладают фракции ГК-2, 59-62% от суммы ГК. Отмечается высокое количество фракции ГК-3, 27-31% от суммы ГК. Фульвокислоты большей частью представлены также фракциями ФК-2 и ФК-3. Следовательно, в черноземах в составе гумусовых веществ значительная доля их находится в инертной форме.

В пахотных черноземах подвижная фракция ГК присутствует в почвах в количестве около 21% от суммы фракций ГК. В составе гуминовых кислот, так же как и на целине преобладают фракции ГК-2 и ГК-3, 48-58% и 19-29 % от суммы ГК соответственно.

В залежных черноземах тип гумуса фульватно-гуматный. Содержание фракции ГК-1 равно 8-14%, ГК-2 – 60-63 и ГК-3 – 26-29% от суммы ГК. В составе фульвокислот также отмечено доминирование фракций ФК-2 и ФК-3.

**Каштановые почвы.** Для этих почв характерно преобладание фульвокислот над гуминовыми. Значительное содержание подвижной фракции ГК-1 (7-11% от суммы ГК) является особенностью качественного состава гумуса длительно-сезоннопромерзающих каштановых почв.

Старопахотные каштановые почвы характеризуются меньшим количеством гумуса, но гораздо более выраженным, чем у черноземов, изменением его состава, особенно в верхней и средней части гумусового профиля. В пахотном слое, по сравнению с гумусо-аккумулятивным горизонтом целинной почвы, произошло снижение количества ГК, тогда как содержание ФК осталось на прежнем уровне. Как и у чернозе-

мов, подвижность ГК возрастает и с глубиной увеличивается доля ГК-2 и ФК-2.

В постагрогенной каштановой почве (залежь) фульвокислоты преобладают над гуминовыми. Отмечается значительное содержание ГК-1 (16-18% от суммы ГК). Среди гуминовых кислот преобладает фракция, ГК-2 и ГК-3, 46-48% и 34-35% от суммы ГК соответственно. В составе фульвокислот отмечается доминирование ФК-2 и ФК-3.

*Показатели гумусного состояния почв.* Черноземы целинные, пахотные и залежные характеризуются содержанием гумуса ниже среднего. Запасы гумуса в слое 0–20 см низкие (табл. 3). Содержание гумуса резко убывает вниз по профилю. Обогащенность гумуса азотом гумусовых горизонтов исследуемых почв средняя (С:N=8,7–9,2). Степень гумификации органического вещества данных почв средняя. Содержание гуминовых кислот, связанных с кальцием, в верхних горизонтах – среднее. В составе гумуса низка доля свободных гуминовых кислот, содержание прочносвязанных с минеральной основой ГК соответствует высокому уровню. Содержание гумина среднее.

Таблица 3. Показатели гумусного состояния почв

Показатель	Черноземы			Каштановые почвы		
	целина	пашня	залежь	целина	пашня	залежь
Содержание гумуса, %	5,3	4,1	4,8	2,2	1,0	1,8
Запасы гумуса в слое (0-20 см), кг/м <sup>2</sup>	14,0	9,0	11,4	5,1	2,2	4,1
Обогащенность гумуса азотом, С:N	8,7	8,8	9,2	7,7	7,2	8,7
Тип гумуса, Сгк/Сфк	1,1	1,1	1,0	0,8	0,9	0,9
Доля ГК-1, % от суммы ГК	13	21	14	11	25	18
Доля ГК-2, % от суммы ГК	59	48	59	53	36	46
Доля ГК-3, % от суммы ГК	27	29	25	35	38	34
Содержание Н.О. % к С <sub>общ</sub>	45	42	46	44	42	43

Каштановые почвы характеризуются ниже среднего содержанием гумуса (табл. 3). Запасы его в слое 0–20 см низкие. Обогащенность гумуса азотом средняя-высокая. Степень гумификации органического вещества средняя. В ГК преобладают фракции ГК-2, также значительно количество ГК-3, отмечается относительно низкое содержание ГК-1.

Длительное использование каштановых почв в качестве пашни существенно снизило содержание и запасы гумуса, но тип гумуса остался прежним, гуматно-фульватный. Количество ГК-1 и ГК-2 – низкое, ГК-3

– высокое, что свидетельствует об устойчивости гуминовых кислот каштановых почв.

За период нахождения пахотной почвы в залежном состоянии увеличились содержание и запасы гумуса, но несколько снизилась обогащенность его азотом. Тип гумуса – гуматно-фульватный.

Таким образом, гумусное состояние черноземов удовлетворительное, каштановых почв – низкое.

*Углерод микробной биомассы и ферментативная активность почв.* Микробная биомасса – небольшой в сравнительном отношении пул органического углерода, но выполняющий исключительно важную роль в деструкционном процессе растительного вещества. Сезонные изменения С-биомассы лимитируется в основном энергетическим фактором, причем в широком диапазоне температур и влажности.

*Сезонная динамика накопления С-биомассы.* В 2008-2010 гг. в начале вегетации количество С-биомассы в почвах было невысоким (рис.1). Черноземы по запасам С-биомассы в два раза превосходили каштановые почвы, что объясняется разным ресурсом органического вещества. С повышением температуры почвы и началом выпадения осадков, содержание С-биомассы постепенно нарастало, а при отсутствии осадков в сочетании с высокой температурой воздуха – снижалось. В сентябре наблюдался спад накопления С-биомассы, что связано с затуханием биологических процессов в почве.

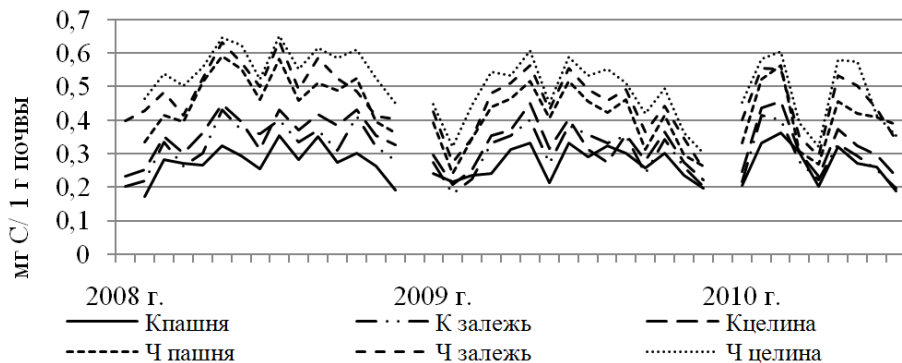


Рис. 1. Динамика накопления С-биомассы в почвах за вегетационный сезон 2008-2010 гг.

Изучение динамики содержания С-биомассы показало, что в течение вегетационного сезона ее максимумы и минимумы совпадают с максимумами и минимумами влажности почв. Количество С-биомассы

в среднем составляет в черноземах – 1,4-2,5% и в каштановых почвах – 3,3% от  $C_{\text{орг.}}$  почвы.

*Целлюлозолитическая активность почв.* Разложение целлюлозы – один из самых больших по масштабам естественный деструкционный процесс. Именно в этом звене круговорота углерода почвенные микроорганизмы выступают как биогеохимические агенты, обеспечивающие возврат углерода в атмосферу в виде  $CO_2$ .

Установлено, что за три вегетационных периода на обеих почвах интенсивность целлюлозолитической активности коррелировала с накоплением С-биомассы.

Интенсивность разложения клетчатки на черноземах оценивается как средняя, на каштановых почвах как слабая. В агроценозах за счет уменьшения биогенности почвы наблюдаются меньшие значения по сравнению с целинными и залежными аналогами.

*Протеолитическая активность почв.* Максимальные значения протеолитической активности за 2009-2010гг. приходились на конец июля - начало августа и на конец августа – начало сентября, где в черноземах этот показатель варьировал в пределах 31-46% и в каштановых почвах – 21-28%. Протеолитическая, как и целлюлозолитическая, активность и интенсивность накопления С-биомассы зависят от гидротермических условий, имеют сходный характер динамики, т.к. при повышении содержания С-биомассы соответственно увеличиваются объемы субстратов для активизации ферментативной активности.

## **Глава 5. Педогенные карбонаты как резервуар неорганического углерода**

В почвах карбонатного ряда присутствуют значительные запасы неорганического углерода, превышающие годовую продукцию углекислоты почвой в несколько десятков раз, что свидетельствует об огромной буферной емкости этих почв. В планетарных расчетах потоков и резервуаров углерода часто недоучитывается неорганические компоненты почв. Основное внимание исследователей в данном аспекте уделяется изучению органического вещества (Esser, 1990).

*Запасы углерода карбонатов.* Максимальные запасы  $C_{\text{карб}}$  в слое 50-150 см обнаружены в черноземах постагрогенных и равны 13,0 кг  $C/m^2$ , что связано с составом почвообразующих пород. В каштановых постагрогенных и целинных почвах этот показатель варьирует от 9,6 до 10,3; в целинных и пахотных черноземах, а также в агрогенных каштановых

почвах – от 4,2 до 5,6 кг С/м<sup>2</sup>. По сравнению с черноземами Европейской части России запасы С<sub>карб</sub> в исследуемых почвах на порядок ниже, а с каштановыми сухих степей Евразии находятся примерно на одном уровне, что объясняется разными условиями гидротермического режима почв.

*Эмиссия CO<sub>2</sub> из почвенных карбонатов при оптимальных водно-температурных условиях.* Нами определен вклад карбонатов в эмиссию CO<sub>2</sub> при усилении степени увлажнения в условиях модельного опыта, в котором мы поддерживали постоянную t<sub>возд.</sub> = +28°C и влажность почвы 20% и 60% от предельно-полевой влагоемкости (ППВ). В первые 3 дня после увлажнения интенсивность выделения CO<sub>2</sub> имеет всплеск, далее кривая CO<sub>2</sub> плавно падает до 25 суток и держится в минимальных пределах до 160 суток, затем стабилизируется на минимуме до 360 дней. В образцах, увлажненных до 20% от ППВ, показатели эмиссии CO<sub>2</sub> выше.

Суммарная С-CO<sub>2</sub> за период наблюдений составляет до 0,034 кгС-CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup> (рис. 2). Вклад карбонатов в эмиссию С-CO<sub>2</sub> значителен и составляет до 2,8 % от С<sub>карб.</sub> (табл. 4), т.е. при орошении или при гумидизации климата следует ожидать, что эмиссия CO<sub>2</sub> возрастет и следует учитывать это при балансовых расчетах.

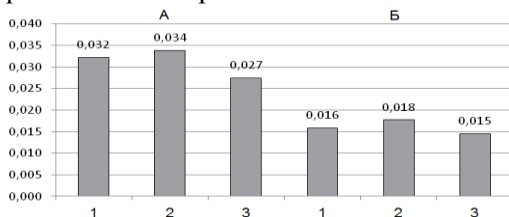


Рис. 2. Суммарная эмиссия С-CO<sub>2</sub> из почвенных карбонатов, кг С-CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup>.

Усл. обозн.: А – при 20 % от ППВ, Б – при 60 %.

1 – чернозем, гор. В<sub>к1</sub>, 2 – чернозем, гор. В<sub>к2</sub>, 3 – каштановая почва, гор. В<sub>к</sub>.

Таблица 4. Вклад углерода карбонатов в эмиссию CO<sub>2</sub>

Горизонт	ППВ, %	Запасы С <sub>карб</sub> , кг/м <sup>2</sup>	С-CO <sub>2</sub> сумм, кг/м <sup>2</sup>	% С-CO <sub>2</sub> сумм от С <sub>карб.</sub>
Чернозем, целина				
В <sub>к1</sub>	20	1,16	0,025	2,16
В <sub>к2</sub>		2,91	0,028	0,96
В <sub>к1</sub>	60	1,16	0,012	1,01
В <sub>к2</sub>		2,91	0,013	0,43
Каштановая почва, целина				
В <sub>к</sub>	20	0,97	0,022	2,27
В <sub>к</sub>	60	0,97	0,011	1,09

*Запасы общего углерода.* Почвенный покров является генератором и аккумулятором гумуса и педогенных карбонатов (Глазовская, 2009). Связующим звеном между карбонатами и органическими соединениями служит  $\text{CO}_2$ , который является необходимым исходным материалом как для фотосинтеза органического вещества, так и для образования карбонатов.

Общие запасы углерода в черноземах в 2,5 раза превышают их в каштановых почвах (табл. 5). Пахотное использование почв существенно снизило запасы углерода: в черноземах – в 1,6 раз, в каштановых – в 2,7 раза. Нахождение пахотных почв в залежном состоянии способствовало возрастанию запасов  $C_{\text{орг}}$  в черноземах в 1,3 и в каштановых 2,2 раза.

Таблица 5. Запасы углерода в почвах, кг  $\text{C}/\text{м}^2$

Почва	$C_{\text{орг}}$ в 0-20 см						$C_{\text{орг}}$	$C_{\text{карб}}$	$C_{\text{общ}}$ ( $C_{\text{орг}} + C_{\text{карб}}$ )
	$C_{\text{гум}}$	$C_{\text{ров}}$			$C_{\text{мб}}$	Общий запас			
		$C_{\text{нм}}$	$C_{\text{корн. опада}}$	сумма					
<b>Черноземы</b>									
							в 0-150 см		
целина	8,1	0,05	0,55	0,60	0,13	8,8	18,0	5,6	23,5
пашня	5,2	0,03	0,07	0,10	0,09	5,4	8,4	5,1	13,5
залежь	6,6	0,04	0,51	0,55	0,11	7,3	15,7	13,0	28,7
<b>Каштановые почвы</b>									
целина	3,0	0,02	0,59	0,61	0,07	3,6	7,3	10,3	17,6
пашня	1,3	0,03	0,06	0,08	0,06	1,3	3,2	4,2	7,4
залежь	2,4	0,03	0,42	0,45	0,07	2,9	5,4	9,6	15,0

Вклад  $C_{\text{гум}}$ ,  $C_{\text{ров}}$  и  $C_{\text{мб}}$  в формирование запасов  $C_{\text{орг}}$  в черноземах целины составляет 87 %, 11 и 2%, а в каштановых почвах – 72%, 24 и 3% соответственно. Подобная тенденция сохраняется и по остальным угодьям: залежи, пашня.

## Глава 6. Эмиссия $\text{CO}_2$ из почв

Эмиссия  $\text{CO}_2$  из почв представляет собой один из основных процессов в глобальном цикле углерода на нашей планете. С целью установления расходной статьи из педогенных запасов углерода нами изучалась эмиссия  $\text{CO}_2$  из почв.

*Суточная динамика эмиссии  $\text{CO}_2$ .* Будучи очень динамичной переменной эмиссия углекислоты характеризуется определенными режимами. Изменение суточного хода выделения  $\text{CO}_2$  из почвы в атмосферу на

всех экспериментальных площадках носит одинаковый характер, отмечается два максимума: первый – с 10 до 12 ч, когда фотосинтетическая активность растений нарастала; второй – с 18 до 20 ч, при наибольшем прогревании верхнего слоя почвы, что обуславливает изменения физиологических и биологических процессов в почве и в самом растении. В пару, продуцирование  $\text{CO}_2$  в течение суток носит несколько другой характер, чем на участках, занятых растительностью, в отсутствие корневых систем, и, как следствие, при отсутствии выброса в почву экссудатов, отмечается равномерный ход эмиссии на протяжении суток.

*Сезонная динамика эмиссии  $\text{CO}_2$ .* Эмиссия диоксида углерода почвами неодинакова 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  $\text{CO}_2$  в 2008-2010 гг. показали, что в начале периода вегетации скорость продуцирования углекислоты на всех экспериментальных площадках низка, что обусловлено медленным весенним прогреванием почв. С повышением температуры в течение вегетации эмиссия  $\text{CO}_2$  постепенно повышалась (рис. 3). Динамика дыхания почв в 2008г. отражается двухвершинной кривой с максимумами в конце июня и во второй декаде июля и постепенным убыванием с наступлением холодных сезонов. Динамика эмиссии  $\text{CO}_2$  за вегетационный сезон 2009г. носила нарастающий характер, что отражается одновершинной кривой. Вегетационный период 2010г. оказался наиболее холодным, что нашло свое отражение в сезонной динамике эмиссии  $\text{CO}_2$ . Наблюдалось несколько чередующихся подъемов и спадов эмиссии углекислоты из почв, типичных для всех без исключения площадок.

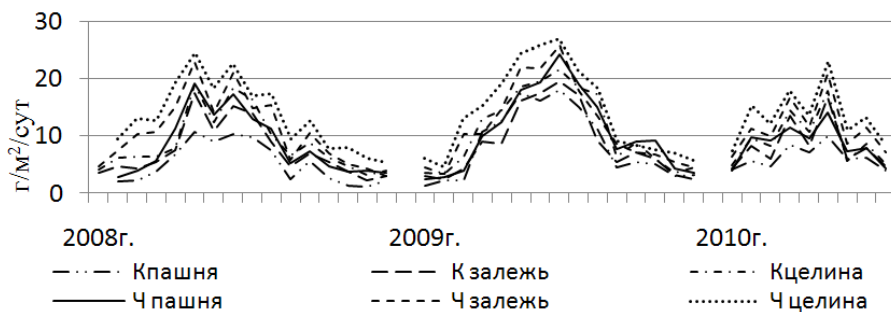


Рис. 3. Динамика эмиссии диоксида углерода из черноземов и каштановых почв, среднее за май – сентябрь 2008-2010 гг.

Общий сезонный максимум выделения  $\text{CO}_2$  из почвы приходится на период максимального роста растений либо совпадает с моментом интенсивности разложения вновь поступившего растительного опада, а также в период совпадения оптимальной температуры и влажности почвы. Различие показателей эмиссии углекислого газа из почв по угодьям в один период наблюдений под разной растительностью, при равных погодно-климатических условиях, по-видимому, объясняется тем, что решающее значение имеет общий запас живой массы и характер ее пространственного распределения, а также гумусированность почв.

При анализе коэффициентов корреляции между эмиссией  $\text{CO}_2$ , температурой и влажностью, выявлены наиболее тесные корреляционные связи между дыханием почвы и температурой в осенне-весенние периоды, т.е. в холодное время года, когда на интенсивность биологических процессов, протекающих в почве, в большей мере влияет ее прогревание. В наиболее засушливые годы отмечается тесная корреляционная зависимость между дыханием почвы и влажностью. Следовательно, в условиях экстроконтинентального климата весной и осенью преимущественное действие на выделение  $\text{CO}_2$  из почв оказывает температура, а в летний период – влажность. Вследствие резких колебаний температуры и влажности почв в течение вегетационного сезона, изменение скорости эмиссии  $\text{CO}_2$  носит "пульсирующий" характер с несколькими чередующимися подъемами и спадами.

В годы с недостаточным увлажнением вариабельность повышалась до 37–61 %, однако существенных различий между почвами не отмечено. Близкие показатели в разных почвах свидетельствуют о том, что сезонная вариабельность связана преимущественно с изменениями температуры и влажности.

*Оценка средней за сезон скорости эмиссии  $\text{CO}_2$ .* Результаты исследований показали, что максимальная средняя за сезон скорость эмиссии  $\text{CO}_2$  в 2008-2010 гг. отмечено на целинном черноземе (3,5 г С- $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут}$ ). На постагрогенном черноземе и агрогенном черноземе этот показатель ниже чем на целинном аналоге (3,0 и 2,2 г С- $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут}$ ). На каштановых почвах средняя скорость эмиссии равна 2,5, на залежи 1,9 г С- $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут}$ . Минимальная средняя скорость эмиссии  $\text{CO}_2$  отмечена на парующихся А (1,3 г С- $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут}$ ). Эти цифры свидетельствуют о низких показателях эмиссии  $\text{CO}_2$  из холодных малогумусных почв.



Оценка суммарной эмиссии  $CO_2$  за сезон. Суммарная эмиссия  $CO_2$  за вегетационные периоды 2008-2010 гг. изменялась в зависимости от типа почв и угодий. Максимальные значения потерь углерода из почвы отмечаются на целинном черноземе. На залежных экспериментальных площадках величина суммарной за вегетацию эмиссии  $CO_2$  была больше чем на пахотных, но ниже чем на целинных. Суммарная эмиссия  $CO_2$  черноземов была выше, чем таковая каштановых почв (рис. 4).

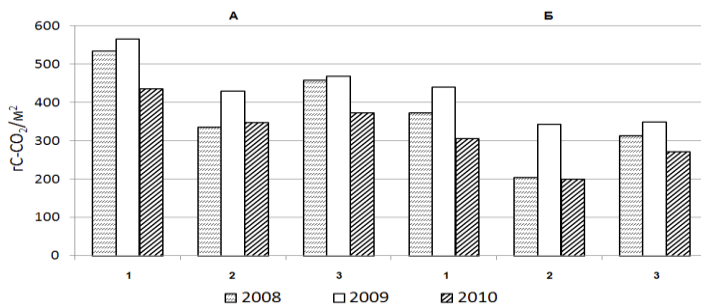


Рис. 4. Суммарные потери углерода в виде  $C-CO_2$  из почв за вегетационный сезон 2008-2010 гг. Усл. обозн.: А – черноземы; Б – каштановые почвы. 1 – целина, 2 – пашня, 3 – залежь.

Вклад  $S_{общ}$  в эмиссию углекислоты значителен и составляет в целинных и постагрогенных почвах 1,5-2,1, а в агрогенных – 2,7-3,1% (табл. 6).

Таблица 6. Суммарная эмиссия  $C-CO_2$  от  $S_{общ}$ , кг  $C / m^2$

Угодье	$S_{общ}$	$C-CO_2$ сумм	% $C-CO_2$ от $S_{общ}$	$NPP - C-CO_2$ сумм
Черноземы				
целина	23,5	0,51	2,17	+0,09
пашня	13,5	0,37	2,74	-0,27
залежь	28,7	0,43	1,50	+0,12
Каштановые почвы				
целина	17,6	0,36	2,10	+0,24
пашня	7,4	0,23	3,11	-0,15
залежь	15,0	0,31	2,07	+0,14

В пахотных черноземах и каштановых почвах баланс углерода между «входом» и «выходом» нарушен (табл. 6). Чистой первичной продукции здесь не остается и показывающие величины функции -0,27 и -

0,15 свидетельствуют о том, что в поток  $C-CO_2_{\text{сумм}}$  включается углерод гумуса.

На каштановых почвах большое значение  $+0,24$  объясняется жесткими климатическими условиями, когда при дефиците влаги и коротком вегетационном периоде вновь поступившая органическая масса слабо поддается деструкции. Целинные черноземы находятся в состоянии в близком к природному равновесию, где количество углерода поступающего из почвы в атмосферу приблизительно равно NPP. Доля сохраняющегося в почве органического вещества составляет  $+0,09 \text{ кг C/m}^2$ . В залежных экосистемах ассимиляция углерода растительностью превышала потери углерода из почв за счет эмиссии  $CO_2$  в атмосферу.

Таким образом, изменения цикла углерода при распашке почв и их длительном сельскохозяйственном использовании связаны со снижением поступления растительного вещества в почву. Вследствие этого, в агроценозах запасы углерода снижаются, что ведёт к нарушению гумусного баланса пахотных почв.

### **Выводы:**

1. Запасы углерода гумуса в черноземах и каштановых почвах Тугнуйской котловины оцениваются как низкие и очень низкие, и составляют в черноземах слое: 0-20 см  $5,2-8,1$  и 0-50 см  $7,5-15,6$  и на каштановых почвах  $1,3-3,0$  и  $2,6-5,6 \text{ кг/m}^2$  соответственно.

2. Внутри систем запасы педогенного углерода имеют разные соотношения органических и неорганических форм. В каштановых почвах углерод в большей степени аккумулируется в форме карбонатов (61-67%), а в черноземах доминирует органическая составляющая (52-78%). Запасы углерода в форме карбонатов в степных почвах варьируют от  $4,2$  до  $13,0 \text{ кг/m}^2$ .

3. Установлено, что вместе с растительными остатками ежегодно в почвы поступает значительное количество углерода, в чернозем (кг  $C/m^2$ ): целинный около  $0,06$ , залежный –  $0,05$ , пахотный –  $0,01$  и в каштановую почву:  $0,06$ ,  $0,04$  и  $0,01$  соответственно. Выявлены широкие соотношения надземной и подземной фитомасс в травянистых сообществах, которые составляли на черноземах  $1:9-1:19$ , на каштановых почвах –  $1:15-1:24$ , тогда как в агроценозах  $1:2-1:3$ .

4. Участие  $C$ -биомассы микроорганизмов в общем запасе органического углерода составляет для черноземов  $1,4-2,5 \%$  и каштановых почв  $1,8-3,3 \%$  от  $C_{\text{орг}}$ . Несмотря на относительно небольшую величину

накопления С-биомассы она является активной частью  $C_{\text{орг}}$ , катализирующей интенсивность трансформационного потока органического вещества и энергии в экосистемах. Динамика накопления С–микробной биомассы носит многовершинный характер, где лимитирующим фактором выступает влажность почв и запас энергетических ресурсов.

5. Черноземы характеризуются средней, а каштановые почвы низкой целлюлозолитической и протеолитической активностями, интенсивность которых уменьшаются в ряду: чернозем - каштановая почва и целина - залежь – пашня.

6. Вклад карбонатов в эмиссию С- $CO_2$  составляет 0,6-2,8 % от запасов  $C_{\text{карб}}$ , т.е. потери углерода из них могут достигать на каштановых почвах – 0,027 кг С- $CO_2/m^2$  и на черноземах до 0,034 кг С- $CO_2/m^2$ . При орошении или при гумидизации климата следует ожидать, что эмиссия  $CO_2$  увеличится, и при балансовых расчетах это следует учитывать.

7. Суммарная эмиссия  $CO_2$  составляет 0,31-0,51 кг С- $CO_2/m^2$  и уменьшаясь в ряду: целина – залежь – пашня. Ведущим абиотическим фактором, определяющим величину годовых потоков углекислого газа из почв, является количество осадков в летний период ( $r=0,7-0,9$ ), тогда как температура почвы контролирует эмиссионные потоки  $CO_2$  в весенне-осенний период ( $r=0,6-0,9$ ) и в более коротких временных интервалах (среднесуточные и среднемесячные). Динамика эмиссии  $CO_2$  носит одно-, двух- и многовершинный характер.

8. Вклад  $C_{\text{общ}}$  в эмиссию  $CO_2$  существенный и составляет в целинных и постагрогенных почвах 1,5-2,1, а в агрогенных – 2,7-3,1%.

9. Длительное использование степных почв в пашне обусловило количественное изменение содержания гумуса, потоков  $CO_2$ , накопления С-биомассы. При залежном состоянии (20 лет) отмечается сравнительно активное восстановление запасов С почвы, приближаясь к природному статусу.

10. Целинные черноземы находятся в состоянии близком к квазиравновесному, количество углерода поступающего из почвы в атмосферу приблизительно равно чистой первичной продукции. Доля сохраняющегося в почве органического вещества составляет в +0,09 кгС/ $m^2$ . В агрогенных почвах баланс углерода между «входом» и «выходом» нарушен: в черноземах -0,27 и -0,15 кг С/ $m^2$  в каштановых почвах. Постагрогенные почвы являются устойчивым стоком диоксида углерода атмосферы (+0,12 +0,14 кгС/ $m^2$ ).

## Список опубликованных работ по теме диссертации:

### Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК:

**Чимитдоржиева Э.О.**, Чимитдоржиева Г.Д. Особенности эмиссии диоксида углерода из мучнистокарбонатных черноземов Тугнуйской котловины Забайкалья // *Агрохимия*. – 2010. – №1. – С.51–55.

**Чимитдоржиева Э.О.** Продуцирование диоксида углерода сухостепными почвами Забайкалья // *Агрохимический вестник*. – 2010. – №4. – С.33–35.

**Чимитдоржиева Э.О.**, Чимитдоржиева Г.Д. Эмиссия диоксида углерода из постагрогенных степных и сухостепных почв Западного Забайкалья // *Известия ТСХА*. – 2011. – №2. – С. 93-102.

### Статьи и тезисы в других изданиях:

**Чимитдоржиева Э.О.** Состояние почвенного плодородия черноземов и каштановых почв Тугнуйской котловины // *Междунар. науч. конф. «Экологические и правовые проблемы водо- и землепользования»*. – Улан-Удэ, 2008. – С. 59–62.

**Чимитдоржиева Э.О.** Целлюлозолитическая и протеолитическая активности черноземов и каштановых почв Тугнуйской котловины Забайкалья // *IV Молодежная шк.-конф. с междунар. участием «Актуальные аспекты современной микробиологии»*. – Москва, 2008. – С.49–50.

**Чимитдоржиева Э.О.** Продуцирование диоксида углерода почвами Тугнуйской котловины Забайкалья // *Молодежная науч. конф. «Молодежь и наука Забайкалья»*. – Чита, 2008. – С.22–23.

**Чимитдоржиева Э.О.** Гумусное состояние почв Тугнуйской котловины Забайкалья // *Всерос. науч. конф. XII Докучаевские молодежные чтения «Почвы и продовольственная безопасность России»*. – Санкт-Петербург, 2009. – С.88–89.

**Чимитдоржиева Э.О.** Особенности продуцирования углекислоты черноземами Селенгинского среднегорья Забайкалья // *II Всерос. науч.-практич. конф. «Растительные ресурсы: опыт, проблемы и перспективы»*. – Бирск, 2009. – С.108–109.

**Чимитдоржиева Э.О.** Состояние почвенного плодородия каштановых почв Тугнуйской котловины // *II Всерос. науч.-практич. конф. «Растительные ресурсы: опыт, проблемы и перспективы»*. – Бирск, 2009. – С.111–112.

**Чимитдоржиева Э.О.** Оценка газообразных потерь углерода каштановыми почвами Тугнуйской котловины Забайкалья // *Междунар. науч. конф. «Вклад молодых ученых в развитие инноваций аграрной науки»*. – М.: РГАУ–МСХА им.К.А. Тимирязева, 2009. – С.279–280.

**Чимитдоржиева Э.О.** Эмиссия двуоксида углерода мучнисто-карбонатными черноземами Тугнуйской котловины Забайкалья // *Междунар. науч.-практ. конф. «Климат, экология, сельское хозяйство Евразии»*. – Иркутск, 2009. – С. 290–291.

**Чимитдоржиева Э.О.**, Бодеева Е.А. Основные параметры почвенного плодородия черноземов Тугнуйской степи // *Актуальные проблемы экологии, морской биологии и биотехнологии матер. IX регион. конф. студентов, аспирантов вузов и научных организаций Дальнего Востока России*. – Владивосток, 2010. – С. 222–224.

**Чимитдоржиева Э.О.**, Цыбенков Ю.Б. Эмиссия диоксида углерода из криогенных гидротаморфизованных и холодных дисперсно-карбонатных черноземов Забайкалья // *Биоразнообразие: глобальные и региональные процессы*, Всерос. конф. молодых ученых. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2010. – С.121–123.