

УДК 631.423.6:631.445.41(571.54)

ЭМИССИЯ CO₂ ИЗ ПАХОТНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ[§]

© 2024 г. Э. О. Чимитдоржиева^{1,*}, Ю. Б. Цыбенков¹, Г. Д. Чимитдоржиева¹¹Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН
670047 Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, Россия

*E-mail: erzhenach@mail.ru

Изучили эмиссию CO₂ из агрочерноземов дисперсно-карбонатных Тугнуйской котловины и агрочерноземов квазиглеевых Еравнинской котловины западного Забайкалья. Для сравнения эмиссии CO₂ из почв взяты одноименные целинные варианты. Цель исследования – количественное определение и сравнительная оценка продуцирования углекислоты из пахотных черноземов с контрастными условиями температуры и увлажнения. Измерение потоков CO₂ из почвы осуществляли закрытым камерным методом портативным инфракрасным CO₂-газоанализатором AZ 7752 (AZ Instrument Corp., Тайвань). Эмиссия CO₂ в значительной степени зависела от гидротермических условий. Ее минимум в начале вегетации был связан с воздействием пониженных температур почв, максимум чаще отмечали после выпадения осадков. Пики эмиссии CO₂ совпадали с повышением температуры и влажности с июня до начала августа, в условиях недостатка легкодоступной влаги, а также были связаны с режимом увлажнения. Лимитирующим фактором величины потока CO₂ для черноземов квазиглеевых была температура почвы, для черноземов дисперсно-карбонатных – влажность. Установлено, что в пахотных почвах суммарная эмиссия CO₂ значительно меньше, чем в целинных, это объясняется особенностями условий агрогенной среды. Пахотные почвы теплее в летний период, зимой охлаждаются сильнее и глубже. Трансформация водного режима происходит в направлении уменьшения увлажнения и увеличения его контрастности в теплый период. Суммарный показатель потерь углерода меняется в ряду: чернозем дисперсно-карбонатный → чернозем квазиглеевый, целина → пашня.

Ключевые слова: эмиссия CO₂, агрочерноземы, мерзлота, Забайкалье.

DOI: 10.31857/S0002188124050063, EDN: CZCTTF

ВВЕДЕНИЕ

Агроценозы представляют собой экосистемы с высокой степенью изменчивости содержания органического вещества. Неправильное использование пахотных почв приводит к потере углерода и к выделению большего количества парниковых газов, особенно диоксида углерода. Однако, если увеличить продуктивность агроценозов или восстановить многолетнюю растительность на этих почвах, можно уменьшить количество углекислого газа в атмосфере и смягчить парниковый эффект [1]. Использование почв в сельском хозяйстве может привести к негативным последствиям, таким как ухудшение физических, агрохимических

и биологических свойств почв, а также потере естественного плодородия.

Из почв выделяется большое количество углекислого газа, что имеет важное значение для глобального цикла углерода [2]. Факторы, влияющие на этот процесс – растительность, тип почвы, климатические условия [3, 4].

Один из основных парниковых газов – CO₂, и для правильной оценки баланса углерода в системе почва–растения–атмосфера необходимо учитывать его поступление в атмосферу из почвы. Пахотные почвы являются одним из главных источников выбросов углекислого газа в атмосферу, согласно исследованию [1].

Известно, что изменения в землепользовании приводят к изменениям запасов органического углерода в почвах. Например, когда целинные земли превращаются в пахотные угодья, это приводит к значительным потерям органического углерода. Потери происходят из-за усиления процессов

[§] Работа выполнена по теме Госзадания № 121030100228-4 “Эволюционно-генетические, биогеохимические и продукционные функции почв Байкальского региона как компонента биосферы, оценка их ресурсного потенциала и разработка технологий рационального использования и охраны”.

минерализации органического вещества и из-за ежегодного сбора растительного материала в качестве урожая, который ранее служил источником обновления органического углерода в почвах. Это было отмечено в работах [5–7].

Поэтому в настоящее время особенно важно заниматься контролем выбросов парниковых газов и изучением способности земных экосистем поглощать углерод, а также разрабатывать научно обоснованные методы для увеличения емкости основных углеродных резервуаров в биогеохимическом цикле [8]. Одна из стратегических задач в решении проблемы избыточного уровня диоксида углерода в атмосфере – рекарбонизация наземных экосистем.

Изучение количества CO_2 , выбрасываемого из почвы в различных экосистемах, является важным для определения общего вклада почвенного покрова России в глобальную эмиссию CO_2 . В процессе изучения доступной литературы о выделении углекислого газа почвами было обнаружено, что Восточная Сибирь является одним из ключевых районов, которые следует принять во внимание при организации системы мониторинга выбросов CO_2 [9]. Очень интересными являются мерзлотные экосистемы, т.к. их высокая чувствительность позволяет использовать их в качестве индикатора и удобной модели для изучения глобальных климатических изменений [10]. Взаимосвязь между верхним слоем мерзлоты и растительностью криогенных биотопов очень тесная, что изменение или исчезновение одной из них неминуемо приведет к быстрой деградации другой.

Актуальность нашего исследования вызвана необходимостью оценки основных наземных источников углекислого газа в экосистемы России и их влияние на биосферу и глобальный климат. Цель работы – определение эмиссии CO_2 из дисперсно-карбонатных и квазиглеевых агрочерноземов Забайкалья и сравнительная их оценка с целинными аналогами.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования послужили агрочерноземы квазиглеевые (*Turbic Chernozem Molliglossic*) юга Витимского плоскогорья и агрочерноземы дисперсно-карбонатные (*Humic Chernozems Nurosalcic*) Селенгинского Среднегорья Западного Забайкалья. Для сравнения в качестве фоновых почв были взяты целинные аналоги агрочерноземов. Почвы классифицировали по [11–13].

Основные физико-химические параметры почв были определены классическими в почвоведении методами [14].

Измерение потоков CO_2 из почвы осуществляли закрытым камерным методом по изменению концентрации в непрозрачных цилиндрических ПВХ-камерах. Объем камер составлял от 1.2 до 1.5 л, их площадь – 90 см^2 . Камеры были вкопаны в почву на глубину 3–4 см ($n = 3$). В камерах удаляли наземную растительность. Камеры вне измерений были постоянно открыты. Оценки потоков была выполнена с использованием портативного инфракрасного CO_2 -газоанализатора AZ 7752 (AZ Instrument Corp., Тайвань). Детали измерительной методики и расчета потоков приведены в работе [15].

На экспериментальных площадках одновременно с определением эмиссии CO_2 производили измерение температуры и влажности почвы в слое 0–20 см. Для оценки суммарных потерь углерода из почвы в виде CO_2 за исследованный период использовали метод линейной интерполяции.

Температуру почвы определяли с помощью логгеров – комплекса TCR-0-U с регистратором DS1921, влажность почвы – с помощью портативного прибора Decagon с датчиком 5 tm.

В табл. 1 приведены некоторые характеристики условий формирования черноземов квазиглеевых и черноземов дисперсно-карбонатных.

Для статистической обработки данных использовали программы Microsoft Excel и Statistica 12.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показали, что черноземы дисперсно-карбонатные и агрочерноземы дисперсно-карбонатные характеризуются укороченным гумусовым профилем, который не превышает 25–35 см. Содержание гумуса составляет 4.1 в пахотной почве и 5.3% – в целинной. Гранулометрический состав легкосуглинистый. В гумусовом горизонте сумма поглощенных оснований составляла 22.6 и 29.7 смоль(экв)/кг почвы на пашне и целине соответственно. Для верхних горизонтов реакция среды была равна 6.7–6.9 ед. рН, в средней и нижней частях профиля показатель находится в диапазоне 7.6–8.4 ед. (табл. 2).

Черноземы квазиглеевые и агрочерноземы квазиглеевые характеризовались небольшой мощностью гумусового горизонта 15–25 см. Верхний слой почвы содержит гумуса 7.2–7.5%. Сумма поглощенных оснований в гумусовом горизонте составляла 35.4–36.8 смоль(экв)/кг почвы. В верхней части профиля реакция почвенного раствора была близка к нейтральной с рН 6.8–6.9, с переходом в нижние горизонты сменялась на слабощелочную и щелочную с рН 7.3–8.3.

Таблица 1. Характеристика условий формирования исследованных почв

Показатель	Тип почвы	
Классификация и диагностика почв России (1977)	Лугово-черноземные мерзлотные почвы	Чернозем мучнисто-карбонатный
Классификация и диагностика почв России (2004)	Чернозем квазиглеевый* Агрочернозем квазиглеевый**	Чернозем дисперсно-карбонатный* Агрочернозем дисперсно-карбонатный**
Классификация почв WRB (2022)	Turbic Chernozem Molliglossic	Нарплиц Чернозем Нуропальс
Котловина	Еравнинская котловина	Тугнуйская котловина
JPS	52°29'48.2" N 111°33'48.9" E	51°09'12.9" N 108°14'21.9" E
Растительные сообщества	Разнотравно-злаковое сообщество	Злаково-разнотравная травянистая растительность
Почвообразующие породы	Промороженные аллювиально-лимнические фациальные комплексы	Делювиальные и пролювиально-делювиальные отложения
Рельеф	Приурочены к недренированным равнинам, к пониженным элементам рельефа	Склоны в межгорных котловинах: в южной части Бурятии – склоны северной экспозиции, в северной – в виде пятен по склонам южной экспозиции
Температура >10°C	1270	1637
Температура самого холодного месяца, °C	-25.4	-24.8
Температура самого теплого месяца (июль), °C	+17.1	+18.3
Осадки, мм	305	255–280
Безморозный период, сут	75–90	90–110
Коэффициент увлажнения	0.72	0.48
Тип водного режима	Чередование более или менее глубокого промачивания и возвратно-капиллярного подпитывания нижней части почвенного профиля	Непромывной с периодическим сквозным промачиванием до почвенно-грунтовой толщи в позднелетний период
C _{орг} , %	4.4 ± 0.35* 3.8 ± 0.51**	3.1 ± 0.37* 2.4 ± 0.12**
Сумма поглощенных оснований, смоль(экв)/кг	34.3 ± 2.80* 32.1 ± 0.65**	29.7 ± 3.20* 27.5 ± 1.08**
pH	7.1 ± 0.30* 6.9 ± 0.12**	6.9 ± 0.25* 6.9 ± 0.02**
Гранулометрический состав	Средний и тяжелый суглинок	Легкий суглинок
Элементарные почвенные процессы	1. Дерновый 2. Биогенное и коагуляционное оструктуривание 3. Элювиально-иллювиальное перераспределение карбонатов 4. Оглеение слабое	1. Подстилкообразование слабое 2. Дерновый 3. Биогенное и коагуляционное оструктуривание 4. Элювиально-иллювиальное перераспределение карбонатов

* Целина.

** Пашня.

Таблица 2. Основные физико-химические свойства почв

Почва	Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	рН _{H₂O}	Поглощенные основания, смоль(экв)/кг		
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Сумма
Чdc	AU	0–33	5.3	6.7	24.9	4.8	29.7
	B	33–50	1.4	7.0	20.6	4.2	24.8
	BСА1	50–75	0.4	7.9		20*	20
	BСА2	75–137	0.2	8.2		22*	22
	Сса	137–170	–	8.3		18*	18
АЧdk	PU	0–20	4.1	6.7	18.1	4.5	22.6
	AU	20–49	2.2	7.4	18.6	3.7	22.3
	BСА	49–85	0.4	8.3	16.0*		16.0
	BСА+Сса	85–145	–	8.3	13.0*		13.0
Чq	AU	0–20	7.5	6.9	25.3	10.1	35.4
	AU+B	20–34	0.8	7.9	18.6	10.5	29.1
	B	45–55	0.7	7.8	19.0	10.7	29.7
	BСА	60–70	–	8.3	–		–
АЧq	PU	0–20	7.2	6.8	29.2	7.6	36.8
	AU+B	20–25	2.6	7.2	22.5	5.0	27.5
	B	35–45	0.7	7.4	13.2	5.7	18.9

* Емкость поглощения.

Разное количество CO₂ выделялось почвами в разные периоды роста растений и зависело от погодных условий, видового состава растений, плотности растительного покрова, состояния растений и микробных сообществ. В 2018 г. исследования эмиссии CO₂ из почв показали, что в начале изученного периода скорость выделения углекислого газа на всех экспериментальных точках была низкой. Это связано с тем, что почва была в глубоко промерзшем состоянии и медленно прогревалась весной. Динамика дыхания холодных почв характеризуется кривой, имеющей 2 пика: один в конце июня и другой во второй декаде июля. Для мерзлотных черноземов кривая сезонной эмиссии CO₂ имеет только один пик в конце июня (рис. 1).

Почвы, находящиеся длительное время в промерзшем состоянии, выделяют больше углекислого газа в течение вегетационного периода по сравнению с мерзлотными почвами. Из черноземов квазиглеевых юга Витимского плоскогорья наблюдают низкие показатели эмиссии CO₂, что обусловлено наличием многолетней мерзлоты. Мерзлота, контактируя с почвой, приводит к охлаждению всего почвенного профиля. В нижней части профиля температура остается отрицательной даже в течение вегетационного сезона. Биологически активная температура (>10°C) опускается только до глубины 60–80 см от поверхности. Когда почва

начинает оттаивать, верхний полуметровый слой освобождается от мерзлоты к концу мая, а второй полуметровый слой – к середине июня [16], в то время как длительно-сезоннопромерзающие почвы оттаивают до глубины 120 см к середине мая и до 190 см к началу июня. Из-за этого биологические процессы в мерзлотных вариантах отстают на 14–15 сут от длительно-сезонномерзлотных черноземов.

Из-за низких температур почвы в начале вегетации скорость выделения CO₂ из всех исследованных почв была невелика, т.к. биологическая активность почвы низкая. Например, из черноземов дисперсно-карбонатных интенсивность продуцирования углекислоты составила 9.4 г CO₂ и в агрочерноземах дисперсно-карбонатных – 2.8 г CO₂/м²/сут. Температура почвы в слое 0–20 см находилась в пределах 8.0–10.1°C – в пахотных и 6.7–10.5°C – в целинных черноземах. Для исследованных почв в этот период была характерна низкая влажность, находящаяся в пределах 4.7–7.1% на пашне и 8.2–10.1% на целине (рис. 2).

В квазиглеевых черноземах интенсивность продуцирования углекислоты составляла всего 1.7 г CO₂/м²/сут. Температура почвы в слое 0–20 см изменялась от 5.6 до 9.0°C при низкой влажности, находящейся в пределах 14.8–17.0%.

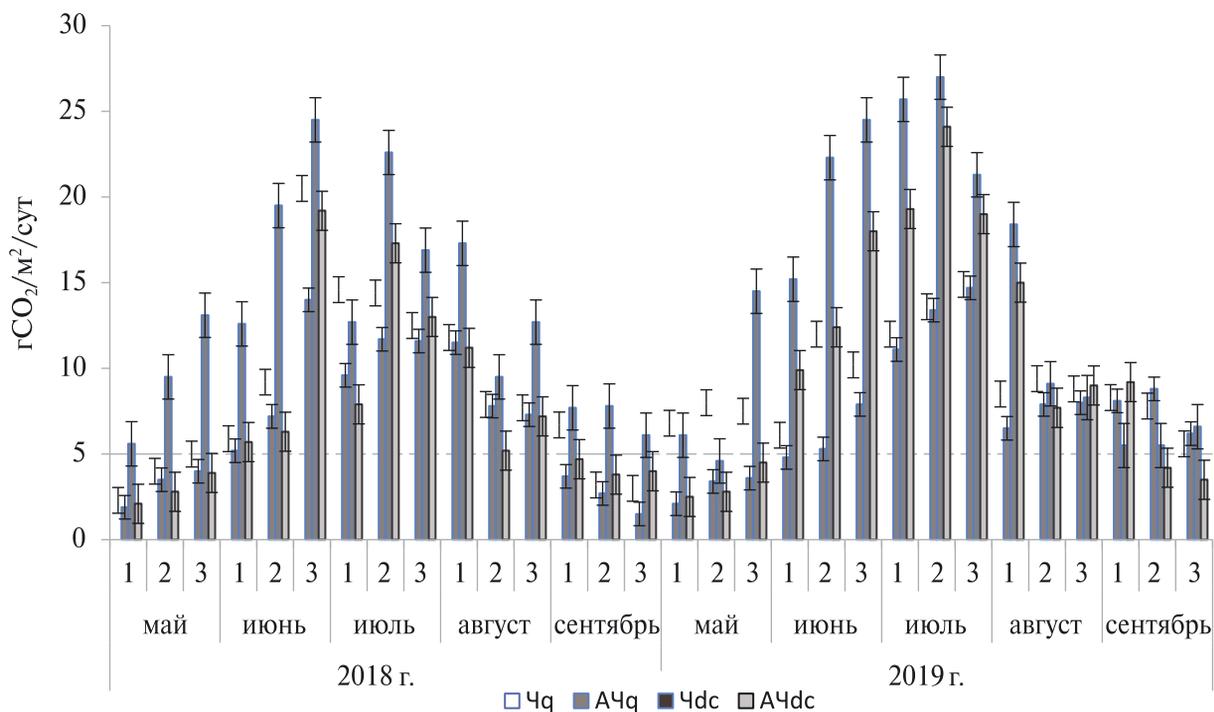


Рис. 1. Динамика эмиссии CO₂ из черноземов за вегетационный сезон 2018–2019 г. Чq – чернозем квазиглеевый, Чdc – чернозем дисперсно-карбонатный, АЧq – агрочернозем квазиглеевый, АЧdc – агрочернозем дисперсно-карбонатный, то же на рис. 2, 3; 1–1-я декада, 2–2-я декада, 3–3-я декада.

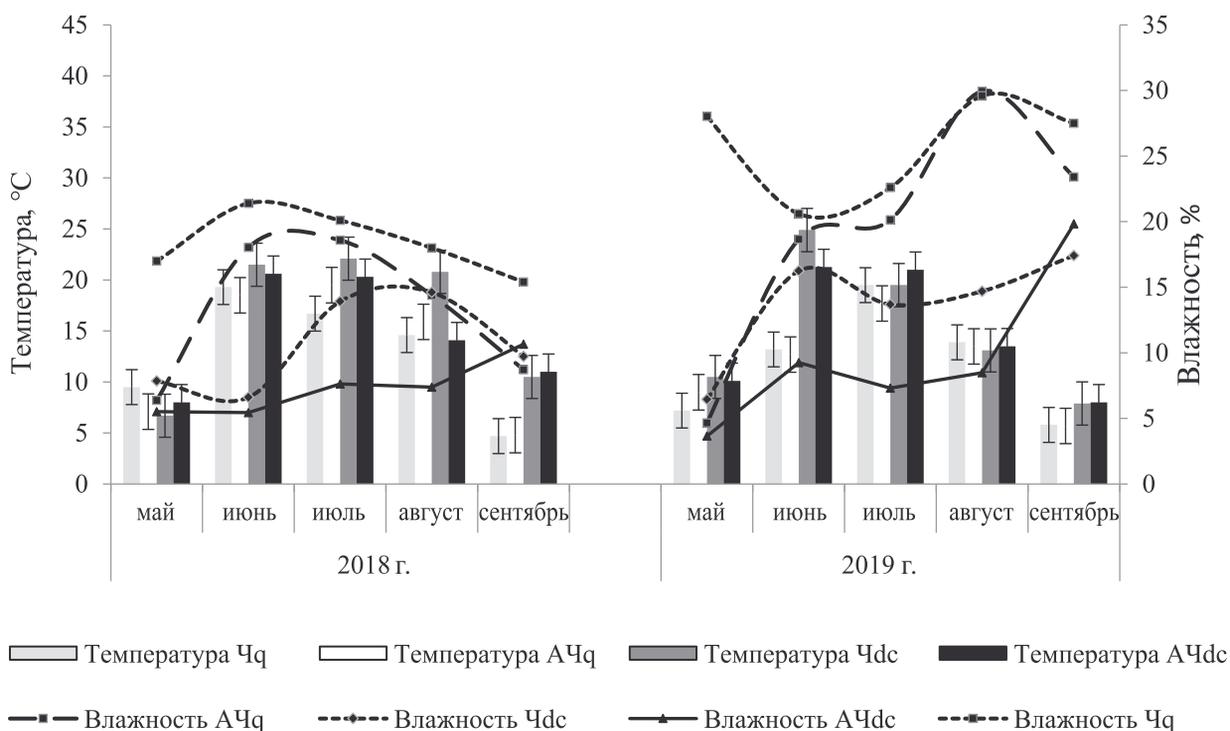


Рис. 2. Влажность и температура черноземов за вегетационный период 2018–2019 гг.

Затем, в начале июня при росте температуры и прогреве верхних слоев почвы наблюдали постепенное увеличение эмиссии CO_2 , вызванное усилением активности биоты. Первый всплеск эмиссии CO_2 из черноземов дисперсно-карбонатных и агрочерноземов дисперсно-карбонатных совпадал с предшествующим выпадением осадков и быстрым прогреванием почвы до 18 и 21°C, обусловившим увеличение эмиссионной составляющей из черноземов дисперсно-карбонатных до 12.5 и в агрочерноземах дисперсно-карбонатных – до 5.6 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут}$, из черноземов квазиглеевых – до 5.9–9.2 и в агрочерноземах квазиглеевых – до 3.9–4.2 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут}$.

Максимальная среднесуточная эмиссия CO_2 отмечена из черноземов дисперсно-карбонатных и агрочерноземов дисперсно-карбонатных в конце июня, когда оптимальные температура и влажность совпадали. На целине показатель составлял 24.4 г, на пашне – 19.1 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут}$. В летний период, когда температура пахотного слоя достигала 21–25°C и после выпадения осадков, отмечали 2-й пик эмиссии CO_2 из черноземов дисперсно-карбонатных (22.5 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут}$), из агрочерноземов дисперсно-карбонатных – 17.2 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут}$. Было отмечено, что максимальную эмиссию CO_2 из черноземов квазиглеевых наблюдали в конце июня, что достигало 20.5 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут}$ и из агрочерноземов квазиглеевых – 14.1 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут}$.

Во второй половине августа наблюдали уменьшение скорости выделения CO_2 : из черноземов дисперсно-карбонатных – до 9.4 г, из агрочерноземов дисперсно-карбонатных – до 5.1 г, из черноземов квазиглеевых – до 7.9 г и из агрочерноземов квазиглеевых – до 7.8 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут}$, что объясняется понижением температуры почвы. Различия полученных данных эмиссии CO_2 из почв на типовом уровне свидетельствуют о разном содержании гумуса в почвах и в зависимости от вида угодья.

В конце августа в черноземах дисперсно-карбонатных отмечено небольшое увеличение эмиссии углекислого газа, которое затем снизилось в связи с тем, что биологические процессы в почве постепенно снижались. На черноземе квазиглеевом в это время отмечали первые осенние заморозки. Под действием резких перепадов температуры и влажности происходило отмирание мелких корней и отдельных микробных клеток, и показатель эмиссии CO_2 снижался.

Повторное прогревание почвы в сентябре на дисперсно-карбонатных и квазиглеевых черноземах вызвало незначительный подъем эмиссии CO_2 из почвы, которое, вероятно, было связано с разложением свежих растительных остатков, поступивших в почву.

В 2019 г. в черноземах дисперсно-карбонатных интенсивность эмиссии CO_2 имела один пик в середине сезона с постепенным снижением показателя в холодные периоды, в черноземах квазиглеевых кривая продуцирования углекислоты характеризовалась многовершинной кривой (рис. 1). Например, в мае и первой декаде июня количество продуцируемой углекислоты из черноземов дисперсно-карбонатных менялось в пределах 6.1–15.2 г CO_2 и из агрочерноземов дисперсно-карбонатных – 2.5–9.9 г CO_2 , из черноземов квазиглеевых – 6.8–8.0 г CO_2 и агрочерноземов квазиглеевых – 4.8 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут}$.

До середины июля в черноземах дисперсно-карбонатных происходило постепенное нарастание эмиссионной составляющей. В это время создавались благоприятные условия для активной деятельности почвенного микробного комплекса, слой 0–20 см почвы прогревался до 21–22°C, влажность почвы достигала 9.4 и 17.6% на пашне и целине соответственно (рис. 2). Увеличивалось дыхание корней, что приводило к высоким показателям эмиссии углекислоты из черноземов. В этом случае наблюдали наибольшие показатели продуцирования углекислоты за весь вегетационный период – 26.9 – на целине и 24.1 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут}$ – на пашне. По мере снижения температуры почвы интенсивность ее дыхания к концу периода активной вегетации растений значительно снижалась. В августе этот показатель варьировал в пределах 5.1–11.1 на пашне и от 9.4 до 17.3 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут}$ – на целине. Далее следовал значительный спад эмиссии, составлявший из черноземов дисперсно-карбонатных 7.6–5.2 и из агрочерноземов дисперсно-карбонатных 4.7–3.4 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут}$ и находившийся в этих пределах до октября.

Из черноземов квазиглеевых в конце июня интенсивность продуцирования углекислоты была равна 12.0 г CO_2 , из агрочерноземов квазиглеевых – 11.1 г $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{сут}$. Максимальные показатели среднесуточной эмиссии зафиксированы во второй половине июля из черноземов

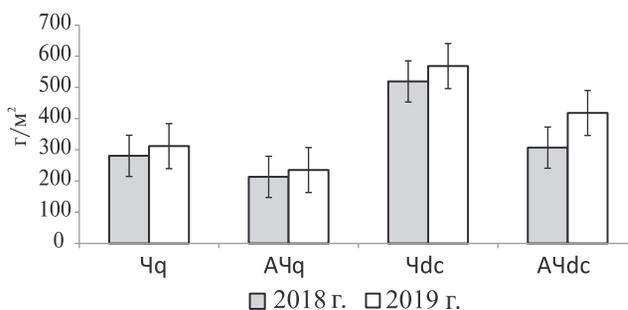


Рис. 3. Суммарное выделение углекислоты из черноземов за вегетационный сезон 2018–2019 гг.

Таблица 3. Вариационно-статистическая характеристика эмиссии CO₂ из черноземов

	Ч _q	АЧ _q	Ч _q	АЧ _q	Ч _{dc}	АЧ _{dc}	Ч _{dc}	АЧ _{dc}
	2018 г.		2019 г.		2018 г.		2019 г.	
Среднее	9.4	5.7	9.8	8.9	13.1	9.6	14.2	9.9
Коэффициент вариации	58.5	63.1	28.2	37.1	45.0	63.6	51.9	67.6
Стандартное отклонение	5.5	3.6	2.7	3.2	5.8	6.1	7.3	6.7
Доверительный интервал	5.7–13.1	3.3–8.1	8.0–11.5	6.5–11.2	9.8–16.3	6.2–13.1	10.1–18.3	6.2–13.7

Примечание. Ч_q – чернозем квазиглеевый, Ч_{dc} – чернозем дисперсно-карбонатный, АЧ_q – агрочернозем квазиглеевый, АЧ_{dc} – агрочернозем дисперсно-карбонатный.

квазиглеевых – 13.6–14.9 г CO₂ и из агрочерноземов квазиглеевых – 13.4–14.7 г CO₂/м²/сут. Далее интенсивность эмиссии CO₂ в связи со снижением биологической активности почв и наступлением низких температур уменьшалась.

Суммарные потери углерода в виде углекислоты из исследованных почв за 2 вегетационных сезона позволили определить их вклад в уровень CO₂ в атмосфере. Потеря углерода за вегетационный период 2018 г. из черноземов дисперсно-карбонатных составила 519 г CO₂/м² и агрочерноземов дисперсно-карбонатных – 307 г, из черноземов квазиглеевых – 281 г и из агрочерноземов квазиглеевых – 213 г CO₂/м² (рис. 3).

Суммарное выделение CO₂ из почв за вегетационный период 2019 г. было значительно больше, чем в 2018 г. и составило из черноземов дисперсно-карбонатных 568 г CO₂/м², из агрочерноземов дисперсно-карбонатных – 418 г, из черноземов квазиглеевых – 312 г и из агрочерноземов квазиглеевых – 235 г CO₂/м².

Из пахотных почв суммарная эмиссия CO₂ за сезон была значительно меньше, чем из целинных. Это можно объяснить различиями в условиях окружающей среды, такими как изменение биологической активности и круговорота веществ. Пахотные почвы теплее в летний период, зимой охлаждаются сильнее и глубже. Трансформация водного режима происходит в направлении уменьшения увлажнения и увеличения его контрастности в теплый период. Это обусловлено непродуктивным использованием влаги на пахотных угодьях за счет сдувания снега, бокового стока талых вод и физического испарения.

Температура почвы является ключевым фактором, определяющим количество эмиссии CO₂ в мерзлотных экосистемах. Интенсивность эмиссии CO₂ значительно меньше из мерзлотных почв. В осенне-весенний период для холодных экосистем величина потока CO₂ зависела от температуры почвы, в то время как в летний период – от влажности. В соответствии с исследованиями

[17], климат генетических горизонтов в почвах мерзлотной и холодной формации оказывает влияние на биологическую активность и эмиссию CO₂ из почвы. Закономерен вывод о том, что мерзлотные почвы менее активны с биологической точки зрения, чем аналогичные немерзлотные почвы.

В исследовании [18] была изучена активность выделения углекислого газа из черноземов квазиглеевых в долине р. Амги. Максимальное выделение углекислоты под целиной было обнаружено в конце июня и оставило 16.8–18.0 г CO₂/м²/сут. В июле отмечали снижение эмиссии CO₂ до 10.8–12.0 г CO₂/м²/сут, и она держалась на одном уровне. В условиях пара интенсивность эмиссии CO₂ была самой высокой в начале сезона и постепенно уменьшалась от 10.8 до 7.2–8.4 г CO₂/м²/сут. Эти данные согласуются с нашими результатами.

В Кулундинской степи Северного Казахстана интенсивность продуцирования CO₂ черноземами южными составляет 18.4–35.5 г CO₂/м²/сут [19]. Указанные данные различаются с исследованными черноземами, что связано с комплексом региональных погодных-климатических и гидротермических условий.

На всех экспериментальных площадках в вегетационные сезоны 2018–2019 гг. потоки CO₂ из почвы достоверно различались в зависимости от даты измерения, о чем свидетельствовали высокие коэффициенты вариации для черноземов дисперсно-карбонатных ($V = 45–67\%$) и черноземов квазиглеевых ($V = 28–63\%$) (табл. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты наблюдений за интенсивностью продуцирования углекислоты почвой указывали на значительную изменчивость процесса дыхания почвы на протяжении вегетационного периода. Минимум эмиссии CO₂ в начале вегетации был связан с воздействием пониженных температур почв, максимум чаще отмечали после выпадения

осадков. Пики эмиссии CO₂ совпадали с повышением температуры и влажности с июня до начала августа, в условиях недостатка легкодоступной влаги, с изменением режима увлажнения.

Из пахотных почв суммарная эмиссия CO₂ была значительно меньше, чем из целинных, это объясняется особенностями условий агрогенной среды. Для черноземов квазиглеевых юга Витимского плоскогорья выявлены низкие показатели сезонной эмиссии CO₂, обусловленные непродолжительным вегетационным периодом, низкой биологической активностью, недостаточным прогреванием почвогрунтов.

Выявлена тесная связь между дыханием почвы и температурой, особенно в осенне-весенние периоды, что подчеркивает приоритетную роль тепла в мерзлотных почвах. Величина продуцирования диоксида углерода мерзлотными почвами в большей степени определяется их температурным режимом, где сдерживающим факторам выступает присутствие мерзлоты. В степях интенсивность продуцирования углекислоты привязана к периодам выпадения осадков внутри теплого сезона.

Суммарный показатель потерь углерода из почв в виде CO₂ за вегетацию уменьшался в ряду: целина > пашня, холодные почвы > мерзлотные, что связано с различиями в скорости минерализации, качестве и количестве органического вещества, определяемым гидротермическим режимом почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ларионова А.А., Курганова И.Н., Лонес де Гереню В.О., Золотарева Б.Н., Евдокимов И.В., Кудеяров В.Н. Эмиссия диоксида углерода из агросерых почв при изменении климата // Почвоведение. 2010. № 2. С. 186–195.
2. Заварзин Г.А., Кудеяров В.Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // Вестн. РАН. 2006. Т. 76. № 1. С. 14–29.
3. Rustad L.E., Huntington T.G., Boone R.D. Controls on soil respiration: Implications for climate change // Biogeochemistry. 2000. V. 48. P. 1–6.
<https://doi.org/10.1023/A:1006255431298>
4. Наумов А.В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 207 с.
5. Post W.M., Mann L.K. Changes in soil organic carbon and nitrogen as a result of cultivation // Soils Greenhouse Effect / Ed. A.F. Bouwman. N.Y.: John Wiley, 1990. P. 401–406.
6. Davidson E.A., Ackerman I.L. Changes in carbon inventories following cultivation of previously untilled soils // Biogeochemistry. 1993. V. 20. P. 161–193.
7. Титлянова А.А., Наумов А.В. Потери углерода из почв Западной Сибири при их сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 1995. № 11. С. 1357–1362.
8. Курганова И.Н., Лонес Д.Г., Инн С.Л., Каганов В.В., Хорошаев Д.А., Рухович Д.И., Сумин Ю.В., Дурманов Н.Д., Кузяков Я.В. Пилотный карбоновый полигон в России: анализ состояния почв и запасы углерода в лесной растительности // Почвы и окружающая среда. 2022. Т. 5. № 2. С. 169.
<https://doi.org/10.31251/pos.v5i2.169>
9. Кудеяров В.Н., Курганова И.Н. Дыхание почв России: анализ базы данных, многолетний мониторинг, общие оценки // Почвоведение. 2005. № 9. С. 1112–1121.
10. Карелин Д.В., Замолотчиков Д.Г. Углеродный обмен в криогенных экосистемах. М.: Наука, 2008. 344 с.
11. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
12. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
13. IUSS Working Group WRB. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria. 2022. Available online: https://wrb.isric.org/files/WRB_fourth_edition_2022-12-18.pdf (accessed 27 September 2023).
14. Карелин Д.В., Почикалов А.В., Замолотчиков Д.Г., Гитарский М.Л. Факторы пространственно-временной изменчивости потоков CO₂ из почв южнотаежного ельника на Валдае // Лесоведение. 2014. № 4. С. 56–66.
15. Дугаров В.И., Куликов А.И. Агрофизические свойства мерзлотных почв. Новосибирск: Наука, СО, 1990. 255 с.
16. Худяков О.И. Климат генетических горизонтов и его влияние на эмиссию CO₂ мерзлотных и холодных почв // Эмиссия и сток парниковых газов на территории Северной Евразии. Пушино: ОНТИ ПНЦ РАН, 2004. С. 106–110.
17. Волотовская Т.Н., Саввинов Г.Н. Биологическая активность мерзлотных лугово-черноземных почв долины р. Амга // Проблемы гидротермики мерзлотных почв. Новосибирск: Наука, СО, 1988. С. 37–40.
18. Мендешев А., Жердева С.В. Динамика выделения CO₂ орошаемыми степными почвами Северного Казахстана // Изв. АН КазССР. Сер. биол. 1989. № 1. С. 77–79.

CO₂-Emission from Arable Chernozems of Western Nransbaikalia**E. O. Chimitdorzhieva^{a,*}, Yu. B. Tsybenov^a, G. D. Chimitdorzhieva^a***^aInstitute of General and Experimental Biology SB RAS,
ul. Sakhyanovoy 6, Ulan-Ude 670047, Russia**[#]E-mail: erzhenach@mail.ru*

CO₂-Emissions from agrochernozems of dispersed carbonate Tugnui basin and agrochernozems of quasi-clay Yeravninsky basin of western Transbaikalia were studied. To compare CO₂-emissions from soils, the virgin land variants of the same name are taken. The aim of the study is to quantify and comparatively evaluate the production of carbon dioxide from arable chernozems with contrasting temperature and moisture conditions. The measurement of CO₂ fluxes from the soil was carried out by a closed chamber method with a portable infrared CO₂ gas analyzer AZ 7752 (AZ Instrument Corp., Taiwan). CO₂-emissions were largely dependent on hydrothermal conditions. Its minimum at the beginning of the growing season was associated with the effect of low soil temperatures, the maximum was more often noted after precipitation. The peaks of CO₂-emissions coincided with an increase in temperature and humidity from June to early August, in conditions of a lack of readily available moisture, and were also associated with a humidification regime. The limiting factor of the CO₂ flux for quasi-clay chernozems was the soil temperature, for dispersed carbonate chernozems – humidity. It has been established that the total CO₂-emission in arable soils is significantly less than in virgin soils, this is explained by the peculiarities of the agrogenic environment. Arable soils are warmer in summer, and they cool down more and deeper in winter. The transformation of the water regime occurs in the direction of reducing moisture and increasing its contrast during the warm period. The total carbon loss index varies in a series: dispersed-carbonate chernozem → quasi-clay chernozem, virgin soil → arable land.

Keywords: CO₂-emission, agrochernozems, permafrost, Transbaikalia.