

УДК 634.412

ЭМИССИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ИЗ ПОЧВ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЮГА ПРИМОРЬЯ

Пуртова Л.Н., Костенков Н.М., Семаль В.А., Комачкова И.В.

ФГУН «Биолого-почвенный институт» ДВО РАН, Владивосток, e-mail: Purtova@ibss.dvo.ru

Представлены результаты исследований эмиссии CO₂ из почв природных и агрогенных ландшафтов юга Приморья абсорбционным методом в условиях *in exp.* Установлено, что большие показатели эмиссии CO₂ свойственны для почв природных ландшафтов с высоким уровнем содержания гумуса. Отмечено снижение эмиссии CO₂ во всех исследуемых почвах при 100% полевой влагоемкости. В почвах агрогенных ландшафтов с посевами бобовых трав зафиксировано возрастание потерь CO₂, из-за усиления минерализационных процессов в результате активизации микрофлоры и ферментативной активности почв. Внесение минеральных удобрений в стандартных дозах в почвах вызвало активизацию процессов эмиссии CO₂. Установлен ряд средних показателей потерь C-CO₂: бурозем темный > бурозем типичный > агротемногумусовая глеевая почва > агротемногумусовый подбел.

Ключевые слова: почва, гумус, эмиссия CO₂, ландшафт

CO₂ SOILS EMISSIONS FROM NATURAL AND AGRICULTURAL LANDSCAPES OF THE SOUTH PART OF PRIMORYE

Purtova L.N., Kostenkov N.M., Semal V.A., Komachkova I.V.

Institute of Biology and Soil Science, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: Purtova@ibss.dvo.ru

We have done results of the research soils CO₂ emission from natural and agricultural landscapes of the south part of Primorye by absorption method *in exp.* It is clear that higher values of CO₂ emission are characterized soils from natural landscapes with the high humus content. In all soils showed that CO₂ emission decreased at 100% field capacity. There are increase of CO₂ losses in soils from natural landscapes with broad beans crop fixed because of the mineralization processes intensification as the result of microorganisms activation and soils enzymatic activities. The introducing of mineral fertilizers in normal dosages in the soils caused the activation of CO₂ emission processes. There are identified average losses of C-CO₂ in the next soils series: Haplic Cambisol > Dystric Cambisol > Humic Gleysols > Mollic Planosols.

Keywords: soil, humus, CO₂ emission, landscape

В настоящее время к числу глобальных современных экологических проблем относится увеличивающаяся концентрация в атмосфере парниковых газов, среди которых диоксид углерода играет главную роль [9]. Эмиссия с поверхности почв потоков CO₂ является одним из самых мощных источников углекислоты, и незначительное нарушение почвенного дыхания может привести к серьезным нарушениям в атмосфере [4]. Показатели почвенного дыхания широко используются для оценки продуктивности экосистем, а также для анализа активности почвенных микробоценозов. Выделение углекислоты может быть объективным индикатором интенсивности разложения органического вещества почвы и позволяет охарактеризовать одну из важнейших сторон биологического круговорота веществ. В России и за рубежом успешно применение нашли методы измерения эмиссии CO₂ *in situ* [4, 5, 6, 12, 16]. В автоморфных почвах CO₂ – практически единственное летучее соединение, в виде которого происходят потери углерода. В связи с этим исследование динамики скорости продуцирования углекислоты дает представление не только о напряженности биологических процессов, но

и позволяет оценить потери органического вещества вследствие минерализации [4].

В последнее время обращено внимание на использование абсорбционного метода при исследовании эмиссии CO₂ из почв [13, 14]. К сожалению, почвы Дальнего Востока являются практически неизученными в отношении почвенного дыхания, что представляет собой основную трудность и увеличивает неопределенность при оценке общего дыхания почв Российской Федерации [4]. Незучеными остаются показатели эмиссии CO₂ почв природных и агрогенно-преобразованных ландшафтов юга Приморья, что в значительной степени и определило актуальность данных исследований. **Цель работы** – количественное определение эмиссии CO₂ из почв природных и агрогенно-преобразованных ландшафтов в условиях *in exp.* В задачу исследований входило изучение изменений в показателях эмиссии CO₂ при различных условиях увлажнения почв и типах землепользования (целина, пашня).

Материалы и методы исследований

Объектами исследований явились наиболее распространенные на территории Приморского края

почвы природных ландшафтов, сформированные в районе Лазовского государственного природного заповедника им. Л.Г. Капланова под дубовым лесом с примесью березы и клена. Согласно современной классификации [3] для поверхностных горизонтов бурозема типичного со следующим морфологическим строением профиля: АУ (0–15 см) – ВМ (15–88 см) – С (88–120 см) свойственно обилие корневых остатков. В серогумусовой почве на аллювии под кедрово-широколиственным лесом на речной террасе р. Перекатная с профилем, дифференцированным на горизонты: АУ (2–12 см) – АУВ (12–24 см) – В (24–48 см) – А [У] (48–60 см) – ИВ (60 см и ниже), поверхностный горизонт сильно пронизан корнями с обилием слабо разложившихся растительных остатков. В буроземе темном со следующей дифференциацией профиля: АУ (0–16 см) – АВ (16–29 см) – ВМ (29–47 см) – ВМ (47–73 см), сформированного под дубняком на пологом склоне юго-восточной экспозиции, горизонт АУ пронизан мицелием и встречается большое количество полуразложившихся остатков.

Из почв агрогенных ландшафтов исследованы почвы, наиболее используемые в системе земледелия: агротемногумусовые подбелы, профиль которых состоит из горизонтов: РУ (25 см) – Еlnng (25–40 см) – ВТg (40–65 см) – ВТg (55–71 см) – С (75–115 см). Изучены варианты с посевами сои с различными дозами внесения минеральных удобрений по схеме:

1. Контроль.
2. N60P120K120.
3. N30P60K60.
4. N10P25K25.

Исследовались агроземы темногумусовые глеевые с морфологическим строением профиля: РУ (23 см) – АУ (23–48 см) – G (48–68 см) – СG (68–98 см) с посевами трав:

1. Клевер.
2. Люцерна.
3. Кострец.
4. Донник.

Эмиссию CO_2 определяли абсорбционным методом [14] в условиях *in exp.* Навеску почвы в количестве 100 г помещали в сосуд-изолятор ($d = 10$ см, $h = 15$ см), внутрь ставили чашечку ($d = 5$ см) с 5 мл 2N NaOH. Повторность опыта трехкратная. Время экспозиции 24, 48 и 192 ч. После чего чашечку извлекали и титровали 0,2 N HCl с фенолфталеином. Выделенное количество CO_2 определяли с учетом холостого титрования (щелочь за период экспозиции помещали в сосуд без почвы объемом, равным объему свободного пространства в сосуде). Исследования велись при разном уровне влажности почв с добавлением дистиллированной воды до 100% полной влагоемкости (ПВ) и 60% ПВ. Наряду с исследованием эмиссии CO_2 из почв определяли показатели каталазной активности почв газометрическим методом [7]. Физико-химические параметры почв – содержание гумуса, – исследовали по методу Тюрина, кислотность почв – потенциометрическим методом [1].

Результаты исследований и их обсуждения

Почвы сформированы в пределах Южно-Приморской (буроземы, серогумусовая почва) и Приморской юго-западной (агро-темногумусовые подбелы, агроземы темногумусовые глеевые) гидротермических

провинций, для которых свойственно значительное выпадение осадков (от 600 до 800 мм), с суммой активных температур до 2300–2550 °С, высокие показатели радиационного баланса 52,2 ккал/см² год, с затратами энергии на почвообразование 33,9 (Приморская юго-Западная), 29,9 ккал/см² год (Южно-Приморская гидротермическая провинция) [11].

Поверхностные горизонты почв природных ландшафтов имеют слабокислую реакцию среды и высокие показатели содержания гумуса. В почвах агрогенных ландшафтов – агротемногумусовых подбелах – наблюдалось возрастание кислотности почв (рНв и рНс), вызванное проведенным ранее их известкованием. Количество гумуса согласно оценочным грациям, предложенным Д.С. Орловым с соавторами [10], низкое (табл. 1). Наблюдения за эмиссией CO_2 проводили в лабораторных условиях (*ex. situ*) при 100% ПВ и 60% ПВ. Как показали результаты проведенных исследований, почвы природных и антропогенных ландшафтов существенно различались по количеству продуцируемого CO_2 . При 60% ПВ большее количество CO_2 , выделяемого в течение суток, свойственно для буроземов темных (табл. 2). Это, на наш взгляд, связано с большей микробиологической активностью буроземов [2, 15], а также с обилием органического вещества в их поверхностных горизонтах.

Для буроземов свойственны более высокие показатели каталазной активности почв – 4,0 O_2 см³/г за 1 мин, тогда как в агротемногумусовом подбеле и агротемногумусовой глеевой почве каталазная активность почв снижалась до 3,0 O_2 см³/г за 1 мин. Для данных типов почв характерно более низкое содержание гумуса в горизонте РУ, что явилось, судя по эмиссии CO_2 , одной из основных причин снижения их биологической активности.

Прослеживалась закономерность к снижению интенсивности почвенного дыхания в почвах агрогенных ландшафтов по сравнению с почвами природных ландшафтов.

Средние показатели потерь С– CO_2 при 60% ПВ изменялись в ряду: бурозем темный – 2,04 г С– CO_2 м²/сутки, серогумусовая на аллювии – 1,37, бурозем типичный – 1,09, агрозем темногумусовый глеевый – 0,67, агротемногумусовый подбел – 0,39 г С– CO_2 м²/сутки.

При насыщении почв водой до полной влагоемкости (100% ПВ) резко снизилось количество CO_2 , выделяемое почвой. Это было характерно как для почв природных, так и антропогенных ландшафтов, и обусловлено созданием анаэробных условий и ухудшением газообмена между почвой и надпочвенным воздухом [9].

Таблица 1

Физико-химические свойства почв природных и агрогенных ландшафтов юга Приморья

Почвы	Горизонт	Глубина, см	рН		Гумус, %
			H ₂ O	KCl	
Бурозем темный	AУ	0–16	4,24	3,76	10,73
	AУВ	16–29	4,18	3,89	2,64
Серогумусовая	AУ	0–12	6,34	5,95	22,39*
	AУВ	12–24	5,78	4,97	8,62*
Бурозем типичный	AУ	0–15	4,74	3,70	11,40
	ВМ	15–88	5,68	4,46	2,38
Агротемногумусовый подбел	PU	0–25	7,10	6,60	3,24
Агрозем темногумусовый глеевый	PU	0–25	6,20	5,10	3,37

Примечание. * – потеря при прокаливании.

Таблица 2

Изменение показателей эмиссии CO₂ в почвах природных и агрогенных ландшафтов (60% ПВ и 100% ПВ)

Почвы	Горизонт	гCO ₂ , м ² /сутки		гC–CO ₂ , м ² /сутки	
		60% ПВ		100% ПВ	
		гCO ₂ , м ² /сутки	гC–CO ₂ , м ² /сутки	гCO ₂ , м ² /сутки	гC–CO ₂ , м ² /сутки
Бурозем темный	AУ	7,56 ± 1,36	2,04 ± 0,65	2,21 ± 0,54	0,60 ± 0,23
Серогумусовая	AУ	5,06 ± 1,42	1,37 ± 0,29	3,48 ± 0,73	0,94 ± 0,27
Бурозем типичный	AУ	4,02 ± 1,30	1,09 ± 0,33	3,74 ± 0,49	1,41 ± 0,40
Агротемногумусовый подбел	PU	1,43 ± 0,26	0,39 ± 0,07	0,46 ± 0,07	0,12 ± 0,02
Агрозем темногумусовый глеевый	PU	2,44 ± 0,04	0,67 ± 0,19	0,73 ± 0,09	0,20 ± 0,02

Примечание. ПВ – полная влагоемкость почв.

Тенденция к снижению эмиссии CO₂ установлена в агроотемногумусовых подбелах в посевах сои с внесением минеральных удобрений, а также в агроотемногумусовых глеевых почвах в условиях фитомелиоративного опыта (табл. 3).

Таблица 3

Показатели эмиссии CO₂ в почвах агрогенных ландшафтов с применением минеральных удобрений и посевами фитомелиорантов

Почва	Горизонт	Варианты опыта	гCO ₂ , м ² /сутки		гCO ₂ , м ² /сутки	
			60% ПВ		100% ПВ	
			гCO ₂ , м ² /сутки	гCO ₂ , м ² /сутки	гCO ₂ , м ² /сутки	гCO ₂ , м ² /сутки
Агротемногумусовый подбел	PU	1. Контроль	1,43 ± 0,26	0,39 ± 0,07	0,46 ± 0,07	0,13 ± 0,02
		2. N60P120K120	1,33 ± 0,25	0,37 ± 0,06	0,67 ± 0,14	0,26 ± 0,04
		3. N30P60K60	1,63 ± 0,69	0,45 ± 0,18	0,60 ± 0,04	0,16 ± 0,01
		4. N10P25K25	1,30 ± 0,27	0,36 ± 0,07	0,74 ± 0,06	0,20 ± 0,02
Агрозем темногумусовый глеевый	PU	1. Клевер	3,73 ± 0,91	1,02 ± 0,25	0,59 ± 0,27	0,23 ± 0,05
		2. Люцерна	3,39 ± 0,67	0,92 ± 0,18	0,82 ± 0,21	0,31 ± 0,03
		3. Кострец	1,95 ± 0,85	0,53 ± 0,18	0,60 ± 0,20	0,21 ± 0,03
		4. Донник	2,74 ± 0,62	0,75 ± 0,08	0,66 ± 0,17	0,26 ± 0,05
		5. Суданская трава	1,03 ± 0,22	0,28 ± 0,06	0,56 ± 0,22	0,19 ± 0,04
		6. Гречиха	1,49 ± 0,26	0,40 ± 0,10	0,61 ± 0,18	0,21 ± 0,01
		7. Соя	1,03 ± 0,15	0,28 ± 0,04	0,37 ± 0,09	0,14 ± 0,02

Количество выделяемого CO_2 при 100% ПВ уменьшилось наиболее существенно в посевах клевера (в 6 раз), люцерны и донника (в 4 раза), сои (в 3 раза).

На вариантах с посевами сои с внесением минеральных удобрений при 100% ПВ явное снижение продуцируемого CO_2 установлено на контроле и с внесением минеральных удобрений в дозе N30P60K60.

При 60% ПВ наибольшие потери C– CO_2 зафиксированы на вариантах агрономогумусовых глеевых почв с посевами бобовых трав: клевера, люцерны, донника, для которых характерно усиление каталазной активности почв – 4,10; 3,6 и 4,6 O_2 $\text{cm}^3/\text{г}$ за 1 мин соответственно. Усиление эмиссии CO_2 , вероятно, обусловлено также более интенсивным развитием минерализационных процессов в результате активной деятельности микрофлоры почв, из-за обогащения почв азотом бобовых трав.

В агрономогумусовых подбелах с посевами сои при 60% ПВ потери C– CO_2 были несколько ниже, чем в агрономогумусовых глеевых почвах с посевами фитомелиорантов. Увеличение эмиссии CO_2 по сравнению с контролем зафиксировано на варианте с внесением минеральных удобрений – N30P60K60, количество CO_2 в котором возросло с 1,43 до 1,63 г CO_2 $\text{m}^2/\text{сутки}$. На данном варианте опыта отмечался более высокий уровень каталазной активности (4,0), тогда как при внесении минеральных удобрений N60P120K120 и N10P25K25 активность несколько снижалась (3,5 O_2 $\text{cm}^3/\text{г}$ за 1 мин). Вероятно, внесение более высоких доз минеральных удобрений, так же как и низких, несколько сдерживало развитие минерализационных процессов органического вещества микрофлорой почв.

Выводы

1. Исследованиями эмиссии CO_2 абсорбционным методом в условиях *in exr.* в почвах природных и агрогенных ландшафтов юга Приморья установлено, что большие потери CO_2 свойственны для почв природных ландшафтов с высоким уровнем содержания гумуса (бурозем темный, бурозем типичный, серогумусовая на аллювии).

2. Средние показатели потерь C– CO_2 изменялись в ряду: бурозем темный – серогумусовая почва – бурозем типичный – агрономогумусовая глеевая – агрономогумусовый подбел.

3. При 100% ПВ отмечено снижение эмиссии CO_2 во всех исследуемых почвах.

4. В почвах агрогенных ландшафтов – агрономогумусовых глеевых с посевами бобовых трав (клевер, люцерна, донник)

зафиксированы большие потери CO_2 из-за минерализационных процессов в результате активной деятельности микрофлоры и ферментативной (каталазной) активности по сравнению с агрономогумусовыми подбелами с посевами сои.

5. Внесение минеральных удобрений в агрономогумусовые подбелы с посевами сои в дозе N30P60K60 активизировали процессы эмиссии CO_2 .

6. Для установления основных закономерностей в изучении эмиссии CO_2 в течение вегетационного периода с учетом складывающихся климатических изменений и использования почв в системе земледелия на юге Дальнего Востока необходимо проведение дальнейших исследований.

Список литературы

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М: МГУ, 1970. – 487 с.
2. Голодяев Г.П. Биологическая активность горно-лесных почв южного Приморья // Вопросы численности, биомассы и продуктивности почвенных микроорганизмов. – Л.: Наука, 1972. – С. 240–246.
3. Классификация и диагностика почв России. – М.: Изд-во Ойкумена, 2004. – 341 с.
4. Кудяров В.Н., Курганова И.Н. Дыхание почв России. Анализ базы данных многолетнего мониторинга. Общая оценка // Почвоведение. – 2005. – № 9. – С. 1112–1121.
5. Кудяров В.Н. Вклад почвенного покрова России в мировой биогеохимический цикл углерода // Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв. – М.: Наука, 2006. – С. 345–361.
6. Курганова И.Н., Кудяров В.Н. Оценка потоков диоксида углерода из почв таежной зоны России // Почвоведение. – 1998. – № 9. – С. 1958–1070.
7. Методы почвенной микробиологии и биохимии; под ред Звягинцева. – М: МГУ, 1991. – 304 с.
8. Наумов А.В. Дыхание почвы. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 208 с.
9. Неуньлов Б.А., Хавкина Н.В. Изучение скорости разложения и процессов превращения в почве органического вещества, меченного C^{14} // Почвоведение. – 1968. – № 2. – С. 103–108.
10. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. – 2004. – № 8. – С. 918–926.
11. Пуртова Л.Н., Костенков Н.М. Содержание органического углерода и энергозапасы в почвах природных и агрогенных ландшафтов юга Дальнего Востока России. – Владивосток: Дальнаука, 2009. – 123 с.
12. Сморгалов И.А., Воробейчик Е.Л. Почвенное дыхание лесных экосистем в градиентах загрязнения среды выбросами металлургических заводов // Экология. – 2011. – № 6. – С. 429–435.
13. Чимитдоржиева Э.О., Чимитдоржиева Г.Д. Особенности эмиссии углекислого газа из мучнистокарбонатных черноземов Тунгусской котловины Забайкалья // Агрохимия. – 2010. – № 11. – С. 45–49.
14. Шарков И.Н. Сравнительная характеристика двух модификаций абсорбционного метода определения дыхания почв // Почвоведение. – 1987. – № 10. – С. 153–157.

15. Щапова Л.Н. Микрофлора почв юга Дальнего Востока России. – Владивосток: Изд-во ДВО РАН, 1994. – 172 с.
 16. Raich J.W., Tufwkioglu D. Vegetation and soil respiration: correlation and controls. – 2000. – Vol.48. – P. 71–90.

References

1. Arinushkina E.V. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv. M.: MGU, 1970. 487 p.
 2. Golodyaev G.P. Biologicheskaya aktivnost gornolesnykh pochv yuznogo Promorya // Voprosy chislennosti, biomassy I produktivnosti pochvennskikh mikroorganizmov. L.: Nauka, 1972. pp. 240–246.
 3. Klassifikatsiya I diagnostika pochv Rossii. M.: Oykumena, 2004. 341 p.
 4. Kudayarov V.N., Kurganova I.N. Dykhanie pochv Rossii. Analiz bazy dannykh mnogoletnego monitoringa. Obshchaya otsenka // Eurasian Soil Science. 2005. Vol. 38. no. 9. pp. 983–992.
 5. Kudayarov V.N. Vklad pochvennogo pokrova Rossii v mirovoy biogeokhimicheskiy tsikl ugleroda // Pochvennye protsessy i prostranstvenno-vremennaya organizatsiya pochv. M.: Nauka, 2006. pp. 345–361.
 6. Kurganova I.N., Kudayarov V.N. Otsenka potokov dioksida ugleroda iz pochv taezhnoy zony Rossii // Eurasian Soil Science. 1998. Vol. 31. no. 9. pp. 954–965
 7. Metody pochvennoy mikrobiologii i biokhimii. Pod red. Zvyagintseva. M: MGU, 1991. 304 p.
 8. Naumov A.V. Dykhanie pochvy. Novosibirsk: SO RAN, 2009. 208 p.
 9. Neunlyov B.A., Khavkina N.V. Izuchenie skorosti razlozheniya i processov prevrascheniya v pochve organicheskogo veshchestva mechenного C¹⁴ // Soviet Soil Science. 1968. no. 2. pp. 103–108.

10. Orlov D.S., Biryukova O.N., Rozanova M.S. Dopolnitelnye pokazateli gumusnogo sostoyaniya pochv i ikh geneticheskikh gorizontov // Eurasian Soil Science. 2004. Vol. 37. no. 8. pp. 798–805.

11. Purtova L.N., Kostenkov N.M. Soderzhanie organicheskogo ugleroda I energozapasy v pochvakh prirodnykh I agri-gennyykh landshaftov yuga Dalnego Vostoka Rossii. Vladivostok: Dalnauka, 2009. 123 p.

12. Smorkalov I.A., Vorobeychik E.L. Pochvennoe dykhanie lesnykh ekosistem v gradientakh zagryazneniya sredy vybrosami medeplavilnykh zavodov // Russian Journal of Ecology. 2011. Vol. 42. no. 6. pp. 464–470.

13. Chimitdorzhieva E.O., Chimitdorzhieva G.D. Osobennosti emissii uglekislogo gaza iz muchnistokarbonatnykh chernozemov Tungusskoy kotloviny Zabaykalya // Agricultural Chemistry. 2010. no. 11. pp. 45–49.

14. Sharkov I.N. Sravnitel'naya kharakteristika dvukh modifikatsii absorbtionnogo metoda opredeleniya dykhaniya pochv // Soviet Soil Science. 1987. no. 10. pp. 153–157.

15. Schapova K.N. Mikroflora pochv yuga Dalnego Vostoka Rossii. Vladivostok. DVO RAN, 1994. 172 p.

16. Raich J.W., Tufwkioglu D. Vegetation and soil respiration: correlation and controls. 2000. Vol. 48. pp. 71–90.

Рецензенты:

Дербенцева А.М., д.с.-х.н., профессор кафедры почвоведения ДВФУ, г. Владивосток;
 Осипов С.В., д.б.н., доцент, зав. лаб. биogeографии и экологии ландшафтов Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Владивосток.

Работа поступила в редакцию 10.01.2013.