

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОЧВЕННУЮ ЭМИССИЮ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ЧЕРНОЗЕМАМИ СТРЕЛЕЦКОЙ СТЕПИ

Тембо А.¹, Самарджич М.¹, Васенев В.И.^{1,2}, Рыжков О.В.³, Морев Д.В.¹, Васенев И.И.¹

¹Лаборатория агроэкологического мониторинга, моделирования и прогнозирования экосистем, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49

²Аграрный факультет, Российский университет дружбы народов, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 10/1

³Центрально-Черноземный государственный природный биосферный заповедник им. проф. В.В. Алехина, 305528, Курская область, Курский район, пос. Заповедный, e-mail: mcalen@mail.ru

В статье представлены результаты мониторинговых исследований эмиссии углекислого газа (CO₂) в наземных экосистемах Стрелецкой степи Центрально-Черноземного заповедника. Исследования проводились на шести представительных экосистемах в пятикратной повторности с мая по июль 2013 г. с целью выявления основных факторов, влияющих на потоки CO₂ в разных экологических условиях. Измерения CO₂ проводились *in situ* с помощью инфракрасного (ИК) газоанализатора Li-820, с одновременными измерениями температуры (датчик Check Temp) и влажности почвы (датчик SM300). Полученные результаты показали, что наибольшая эмиссия CO₂ наблюдалась в лесной экосистеме, среднее значение для которой составляло 39,5 г CO₂ м⁻² день⁻¹. Наименьшая эмиссия отмечалась на чистом паре и составляла 8,1 г CO₂ м⁻² день⁻¹. Коэффициенты вариации (CV) составили 34 и 42% в лесной экосистеме и чистом паре соответственно. Наибольшее пространственное разнообразие было отмечено на участке некосимой степи с CV = 64%, что на 36 и 28% выше, чем на косимой степи с 10- и 5-летней ротациями соответственно, и на 24% выше, чем на пастбище. Основными факторами, определившими разнообразие эмиссии CO₂ в изученных экосистемах, явились вид землепользования, температура и влажность почвы. Землепользование определило 65% от общей дисперсии эмиссии (однофакторный дисперсионный анализ, p<0,05). Коэффициент корреляции эмиссии CO₂ с температурой и влажностью почвы составил -0,92 и 0,75 соответственно.

Ключевые слова: наземные экосистемы, парниковые газы, потоки, глобальное изменение климата.

ANALYSIS OF MAJOR FACTORS INFLUENCING SOIL CARBON DIOXIDE EMISSIONS IN CHERNOZEMS OF THE STRELETSKI STEPPE

Tembo A.¹, Samardjic M.¹, Vasenev V.I.^{1,2}, Ryzhkov O.V.³, Morev D.V.¹, Vasenev I.I.¹

¹Laboratory of agroecological monitoring, modeling and ecosystem prediction, RSAU-MTAA, Moscow, Russia (127550, Moscow, Timiryazevskaya st., 49)

²Agricultural faculty, People's friendship University of Russia, 117198, Moscow, Miklukho-Maclay St., 10/1

³The Central Chernozem State Biosphere Nature Reserve named in honour of prof. V.V. Alekhin, 305528, Kursk region, s. Zapovedny, e-mail: mcalen@mail.ru

Results of ecological monitoring research work on carbon dioxide (CO₂) emissions from terrestrial ecosystems of the Streletski steppe in Central Chernozem Reserve are presented in this paper. The research was carried out on 6 representative ecosystems with five replicas from May to July 2013 for the purpose of analyzing the major factors influencing CO₂ emissions from soils under different ecological conditions. Measurements of CO₂ were carried out in-situ by means of infra red (IR) gas analyzer - Li 820, with simultaneous measurements of soil temperature (Check Temp sensor) and soil moisture (SM300 sensor). Results of the study showed the highest CO₂ emissions in a forest ecosystem with an average value of 39.5 g CO₂ m⁻² day⁻¹. The lowest emissions were observed on fallow land which recorded an average of 8.1 g CO₂ m⁻² day⁻¹. The results also showed a variation of CO₂ fluxes among and within ecosystems. Coefficient of variation (CV) in forest ecosystem and fallow land where the highest and lowest fluxes were recorded was 34% and 42%, respectively. The highest spatial variability was noted on Non-Mowed steppe, with a value of 64% that represented 36 and 28% higher than on 10-year-old mowed steppe and 5-year-old mowed steppe respectively and 24% more than on pasture. The main factors influencing the variability of CO₂ emissions in the studied ecosystems were land use, temperature and soil moisture. Land use accounted for 65% of the total variance analysis (ANOVA, p < 0.05). CO₂ emission coefficient of correlation with temperature and soil moisture was -0.92 and 0.75, respectively.

Keywords: terrestrial ecosystems, greenhouse gases, CO₂ fluxes, global climate change.

Введение. Одной из острых экологических проблем XXI века является глобальное изменение климата. Принципиальное воздействие на глобальное потепление оказывает растущая концентрация парниковых газов, важнейшим среди которых является углекислый газ (CO₂) [6]. Почва является важным природным резервуаром и наиболее существенным источником биогенного углерода в наземных экосистемах [10]. Почва – основной источник потоков CO₂ в наземных экосистемах [5]. В почве содержится примерно в два раза больше (1400–1500 Гт С) углерода, чем в атмосфере. Многие ученые полагают, что около 90% атмосферного CO₂ имеет почвенное происхождение [1].

Почвенная эмиссия CO₂, также называемая почвенным дыханием, включает процессы микробиологического разложения органических веществ и автотрофного дыхания корней. Эмиссия CO₂ может являться индикатором интенсивности разложения органических веществ почвы и позволяет охарактеризовать одну из важнейших сторон биологического круговорота углерода. Интенсификация потоков CO₂ из почвы приводит к глобальному дисбалансу CO₂ в атмосфере.

Структура землепользования играет важную роль в эмиссии CO₂ и в региональном балансе углерода [8]. Характер экосистемы и антропогенная деятельность могут повлиять на естественные почвенные процессы, в том числе и связанные с углеродным циклом. В результате этого скорость разложения органического вещества почвы может как увеличиться, так и уменьшиться. Интенсификация почвенного дыхания вследствие изменения землепользования может привести к заметным последствиям для эмиссии CO₂ в атмосферу [2]. Таким образом, тип землепользования является ключевым фактором при мониторинге эмиссии парниковых газов.

Одной из наиболее плодородных почв является чернозем. Он характеризуется высоким содержанием углерода, что повышает актуальность изучения эмиссии парниковых газов черноземами. В то же время потоки углерода в черноземных почвах как естественных, так и антропогенно измененных экосистем остаются недостаточно изученными. Это увеличивает неопределенность при оценке общего вклада Центрально-Черноземного региона в дыхание почв России. Стрелецкая степь Центрально-Черноземного заповедника является интересным объектом, на примере которого можно проследить разнообразие эмиссии CO₂ черноземами в условиях контрастного землепользования. Цель работы – выявление основных факторов, влияющих на эмиссию CO₂ представительных экосистем Стрелецкой степи.

Объекты и методы исследований. Исследования были проведены в Стрелецкой степи Центрально-Черноземного заповедника, который расположен в Курской области Российской Федерации между 51°34′ с.ш. и 36°06′ в.д. Основными объектами исследования

являлись шесть представительных экосистем: лес (ЛС), некосимая степь (НКС), степи с пятилетней (P5КС) и десятилетней (P10КС) ротациями сенокособорота, пастбище (ПС) и чистый пар (ЧП) [3].

Рельеф заповедника по своей природе имеет эрозионный характер. Климат – умеренно-континентальный со среднегодовой температурой воздуха +5,8 °С и годовым количеством осадков 573 мм. В теплый сезон (апрель-октябрь) выпадает 65-70% осадков. По данным метеостанции заповедника «Стрелецкая степь», самым холодным месяцем является январь со средней температурой воздуха -7,8 °С, самым теплым – июль со средней температурой воздуха +19,0 °С.

Исследования выполнялись с мая по июль 2013 года. Основания камер были установлены на каждом представительном участке с пятикратной повторностью. Измерения потоков CO₂ из почвы проводились *in situ* с помощью системы инфракрасного (ИК) газоанализатора (Li-820) с камерой 10 см в диаметре и 15 см высотой. Параллельно с измерениями потоков CO₂ определялись температура (датчик CheckTemp) и влажность почвы (датчик SM300) [4; 7].

Результаты и обсуждения. Для изученной территории Стрелецкой степи отмечено высокое пространственное разнообразие почвенной эмиссии CO₂. Максимальное среднее значение выявлено для лесной экосистемы – почти в пять раз больше, чем на чистом паре, где наблюдалось минимальное среднее значение. Наряду с различиями эмиссии для контрастных видов землепользования была отмечена и высокая внутренняя неоднородность. Так, для участка некосимой степи коэффициент вариации составил 64%, что на 36 и 28% выше, чем на косимой степи с 10- и 5-летней ротациями, на 30% выше, чем в лесной экосистеме, на 24% выше, чем на пастбище, и на 22% выше, чем на чистом паре соответственно (табл. 1). Такое высокое внутреннее разнообразие может быть связано как с особенностями структуры почвенного покрова, так и с микрорельефом.

Пространственное разнообразие на чистом паре оказалось на 22% ниже, чем на участке некосимой степи: значительный вклад, по-видимому, вносит временная динамика, связанная с сезонными изменениями климатических условий, в первую очередь, температуры и влажности почвы (рис. 1). Взаимосвязь эмиссии CO₂ с почвенными режимами температуры и влажности подтверждается результатами корреляционного анализа. Коэффициент корреляции потоков CO₂ с температурой почвы составил -0,92 (обратно пропорциональная зависимость), а с влажностью почвы – 0,75 (прямо пропорциональная зависимость). Результаты работы показали значительное влияние типов экосистем на эмиссию CO₂.

Потоки CO₂ и экологические показатели изучаемых объектов

| Объект | гCO ₂ м ⁻² день ⁻¹ | Температура почвы, °С | Влажность почвы, % | Коэффициент вариации потоков CO ₂ , % (CV) |
|--------|---|-----------------------|--------------------|---|
| ЛС | 39,5±13,4 | 17,6±0,3 | 30,4±2,9 | 34 |
| НКС | 30,4 ±19,5 | 18,8±0,8 | 19,5±2,6 | 64 |
| Р5КС | 28,8±10,4 | 20,9±1,3 | 20,1±2,2 | 36 |
| Р10КС | 26,3±7,4 | 21,6±0,8 | 20,7±1,8 | 28 |
| ПС | 25,7±10,3 | 20,7±0,8 | 23,7±2,4 | 40 |
| ЧП | 8,1±3,5 | 23,4±0,9 | 20,3±2,9 | 42 |

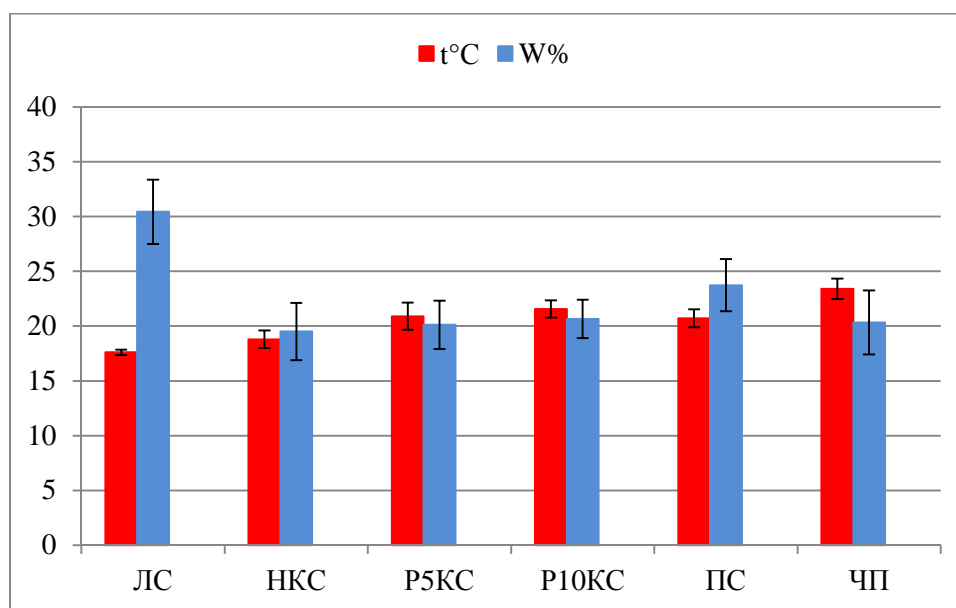


Рис. 1. Средние сезонные температуры и влажность почвы.

Наибольшая эмиссия наблюдалась в лесной экосистеме при высокой средней влажности, возможно, связанной с затенением, а наименьшая – на чистом паре при высокой средней температуре почвы (рис. 1 и 2). Это может быть связано с тем, что на чистом паре, где регулярно выполняется обработка почвы на протяжении 70 лет, она находится в более открытом и рыхлом состоянии, из-за чего наблюдается повышение температуры. Нужно еще отметить, что на чистом паре из-за регулярной пахоты снижается содержание углерода в почве и в результате чего, вероятно, снижаются потоки CO₂. Наибольший показатель эмиссии CO₂ в степных экосистемах наблюдался на НКС при преобладании влажности над температурой и составил на 1,6, 4,1 и 4,7% больше, чем на Р5КС, Р10КС и ПС соответственно. Таким образом, температура и влажность почвы, помимо вида экосистемы, также оказывают существенное влияние на эмиссии CO₂. Значение влияния типов экосистем составило 65% (однофакторный дисперсионный анализ, p<0,05). Эмиссия на НКС, Р5КС,

P10КС и ПС была более равномерной, но на НКС наблюдался наибольший разброс показателей, так как на этом участке наземные биомассы более неоднородны.

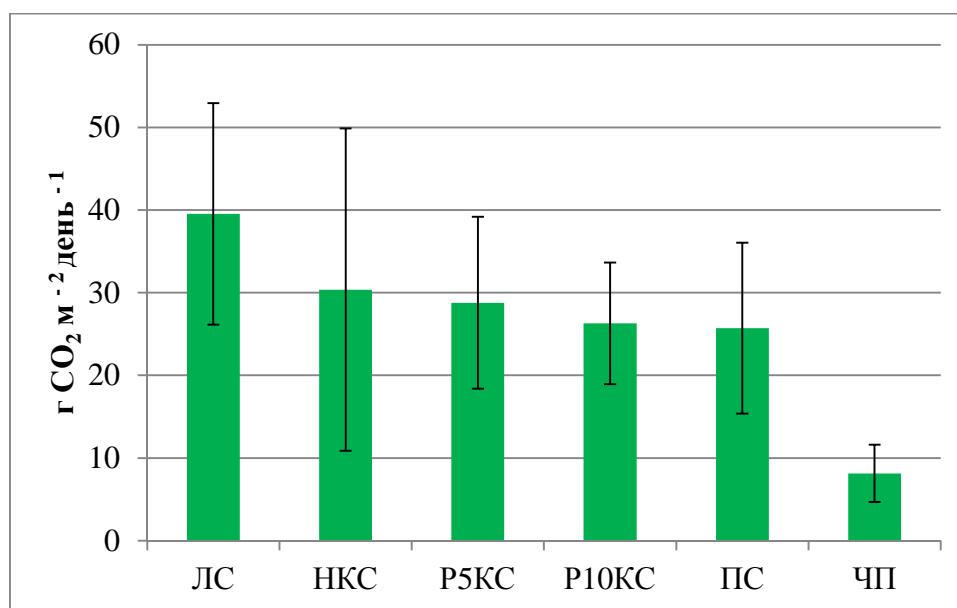


Рис. 2. Средняя эмиссия CO₂ для исследованных видов экосистем.

Результаты выполняемых исследований указывают на то, что при проведении мониторинговых работ необходимо учитывать особенности влияния каждого типа экосистемы на основные почвенные режимы в региональном балансе потоков CO₂.

Работа выполнена при поддержке гранта правительства РФ № 11.G34.31.0079.

Список литературы

1. Кудеяров и др. Потоки и пулы углерода в наземных экосистемах России / отв. ред. Г.А. Заварзин. - М. : Наука, 2007. - 315 с.
2. Кудеяров В.Н., Курганова И.Н. Дыхание почв России. Анализ базы данных многолетнего мониторинга. Общая оценка // Почвоведение. – 2005. – № 9. – С. 1112–1121.
3. Режимы системных особо охраняемых природных территорий : материалы международной научно-практической конференции, посвященной 130-летию со дня рождения профессора В.В. Алехина (г. Курск – пос. Заповедный, 15-18 января 2012 г.). - Курск, 2012. – 276 с.
4. Castaldi S. et al. Fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O from soils of burned grassland savannah of central Africa // Biogeo science. - 2010. – 7. - P. 3459–3471.
5. Houghton R.A. (2003) Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different? // Global Change Biology, 9, P. 500-509.

6. Jansen E. The effects of land use, temperature and water level fluctuation on the emission of nitrous oxide (N₂O), carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) from organic soil cores in Iceland. M.Sc. thesis in Environment and Resources. – Reykjavik, 2008. - 73 p.
7. Kabwe G. Uptake of Agroforestry Technologies among Smallholder Farmers in Zambia. New Zealand. - 2010. – 246 p.
8. Larionova A.A. et al (2003). Land-use change and management effects on carbon sequestration in soils of Russia's South Taiga zone. *Tellus*, 55B, P 331–337.
9. Mikhailova E.A. and Post C.J. Effects of Land Use on Soil Inorganic Carbon Stocks in the Russian Chernozem. - 2006 Published in *J. Environ. Qual.* 35: P. 1384–1388 (2006). Special Submissions doi:10.2134/jeq2005.015.
10. Silva-Olaya A.M. et al. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane // *Environ. Res. Lett.* 8 (2013) 015014 (8 pp).

Рецензенты:

Филиппова А.В., д.б.н., профессор, зав. каф. биологии, природопользования и экологической безопасности, Оренбургский государственный аграрный университет, г. Оренбург.

Туманян А.Ф., д.с-х.н., профессор кафедры ландшафтной архитектуры и дизайна РУДН, г. Москва.