МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКОВ УГЛЕРОДА В АГРОЭКОСИСТЕМАХ

Суховеева О.Э.[1], Курганова И.Н.[2], Лопес де Гереню В.О.[2], Сапронов Д.В.[2]

[1]*Институт географии РАН, Москва, Россия*
olgasukhoveeva@gmail.com
[2]*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения, Пущино, Россия*

Аннотация. Представлены результаты моделирования дыхания серой лесной почвы агроценоза на основе корреляционно-регрессионного метода и имитационной биогеохимической модели DNDC. Показано, что дыхание почвы под покровом культур наилучшим образом описывается с помощью регрессионной зависимости, тогда как дыхание паровой почвы корректнее оценивается на базе имитационной модели.

Введение

На сегодняшний день имеются широкие возможности для опосредованной оценки и прогноза дыхания почвы, или эмиссии почвой углекислого газа (CO_2), с помощью методов математического и статистического моделирования. Чаще всего в биогеохимических моделях для оценки дыхания почв используют простые эмпирические зависимости, где в качестве независимых переменных выступают влажность и температура почвы (Davidson et al., 2006), хотя они не только напрямую влияют на активность выделения CO_2 из почв, но и косвенно воздействуют на состояние дыхательного субстрата, приводя к множественным эффектам (Moyano et al., 2013). Данные прямых измерений и результаты использования ансамбля моделей позволяют судить о том, что одним из основных источников эмиссии CO_2 в атмосферу являются обрабатываемые почвы (Smith et al., 2007).

Цель настоящего исследования состояла в получении численных оценок эмиссии CO_2 из почв агроценозов на основе математико-статистических методов для предсказания ожидаемого уровня потоков CO_2 из пахотных почв в условиях изменяющегося климата.

Материалы и методы

Экспериментальные исследования по определению эмиссии CO_2 из почв проводили на неудобряемом варианте зернопарового севооборота на Опытно-полевой станция ИФХиБПП в г. Пущино Московской области. Почва участка серая лесная окультуренная среднесуглинистая на покровном суглинке. Измерение интенсивности выделения CO_2 проводилось с поверхности почвы камерным методом с ноября 1997 по октябрь 2009 года. Параллельно с определением эмиссии CO_2 измерялись температура и влажность почвы. Метеорологические данные (температура воздуха и количество осадков) были предоставлены Станцией комплексного фонового мониторинга Государственного Приокско-Террасного Биосферного Заповедника, находящейся на расстоянии 10 км от экспериментальной площадки.

В севообороте чередовались озимая пшеница (1998, 1999, 2000, 2001, 2003, 2005, 2006, 2008, 2009 гг.) и чистый пар (2002, 2004, 2007 гг.). Сроки проведения почвообрабатывающих мероприятий на территории Опыта были рассчитаны на основании рекомендаций для нечерноземной зоны (Грачев, 1980). Технология возделывания отличалась малой интенсивностью (без внесения удобрений).

Для моделирования дыхания почвы использовалась процессно-ориентированная имитационная модель DNDC (DeNitrification-DeComposition) (Li et al., 1992), разработанная для оценки биогеохимических циклов азота и углерода в агроэкосистемах. Для проведения статистического моделирования с помощью линейных регрессионных моделей использовались пакеты программ Statistica и Microsoft Excel. Расчеты выполнялись как для всего ряда данных (агроценоз), так и по отдельным звеньям севооборота (озимая пшеница и

пар). Проверка эффективности моделирования оценивалась с помощью коэффициентов Нэша-Сатклиффа (Nash, 1970) и Тейла (Тэйл, 1977).

Результаты и обсуждение

Выявлены значимые положительные корреляции между скоростью эмиссии CO_2 и температурой воздуха и почвы в агроценозе в целом, а также в посевах озимой пшеницы, (R=0,47-0,60; P<0,05). Взаимосвязь дыхания паровой почвы с гидротермическими параметрами была незначима. Для первых 2-х лет наблюдений (1998-1999 гг.) в том же самом зернопаровом севообороте была выявлена слабая положительная зависимость эмиссии CO_2 от температуры почвы и воздуха (R=0,40) и тесные связи с влажностью почвы (R=0,74), но только в летнее время, когда увлажнение почв являлось лимитирующим фактором (Лопес де Гереню и др., 2001).

Построенные нами многофакторные уравнения регрессии для численной оценки среднесуточной эмиссии CO_2 (У) с температурой (Тп) и влажностью (Вп) почвы в качестве независимых переменных имеют вид:

- Агроценоз в целом: У = 4,16Тп + 1,25Вп – 20,2 (R^2=0,31; P=0,000),
- Озимая пшеница: У = 4,89Тп + 1,44Вп – 26,4 (R^2=0,41; P=0,000),
- Чистый пар: У = 1,12Тп + 22,52 (R^2=0,057; P=0,010)

Значения коэффициента детерминации позволяют сделать вывод о том, что температура и влажность почвы объясняют 31-41% дисперсии дыхания почв под озимой пшеницей и в агроценозе в целом. Дыхание почв чистого пара регрессионная модель описывает с очень низкой точностью. Ранее для почв того же экспериментального участка было выявлено, что эмпирические многофакторные регрессионные модели с достаточной точностью (R=0,67; P<0,001) оценивают зависимость месячных потоков CO_2 из почвы агроценоза от тех же независимых переменных (Курганова и др., 2011). Было также показано (Lopes de Gerenyu et al., 2005), что зависимость между образованием CO_2 и температурой почвы в агроценозе может быть охарактеризована не только линейным уравнением (R=0,46-0,55), но и экспоненциальным (R=0,62-0,68).

На рисунке представлено сравнение измеренных и расчетных значений эмиссии CO_2 из почв в агроценозе. Регрессионная модель наилучшим образом описывает дыхание почв в среднем диапазоне значений, но при этом существенно занижает пики эмиссионной активности в летний период.

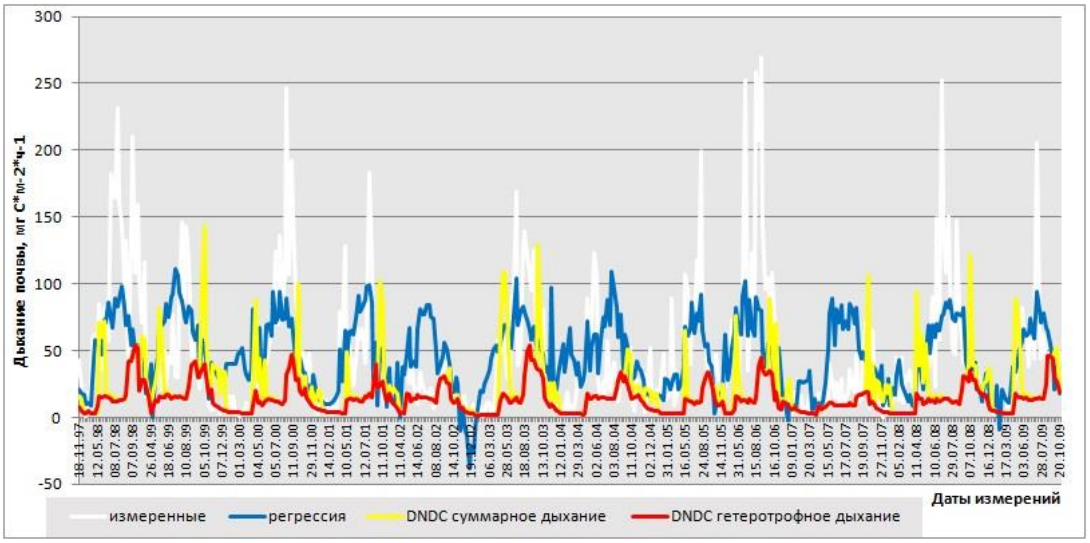

Рисунок – Сравнение измеренных значений эмиссии CO_2 из почв агроценоза с расчетными величинами, полученными с использованием регрессионных уравнений и имитационной модели DNDC

Прогнозируемое моделью DNDC суммарное дыхание почвы лежит в том же диапазоне значений, что и измеренные величины, но в летний сезон моделируется его спад, прежде всего, за счет существенного уменьшения дыхания корней. По-видимому, это связано с тем, что в DNDC изначально заложена функция снижения корневого дыхания после начала формирования зерна. Гетеротрофное дыхание оценивается моделью DNDC численно ниже измеренных значений, но точно отражает пики и спады потока CO_2 в течение года.

Исходя из представленных в таблице количественных значений коэффициентов эффективности моделирования, можно заключить, что уравнения регрессии в условиях агросерой почвы лучше проявляют себя при оценке эмиссии CO_2 из почвы, занятой посевами пшеницы, тогда как модель DNDC больше подходит для оценки потока CO_2 из парующей почвы.

Таблица – Оценка эффективности моделирования (соотношение между измеренными и расчетными величинами)

Экосистема	Коэффициент Нэша-Сатклиффа		Коэффициент несоответствия Тэйла		Коэффициент корреляции (P<0,05)	
Способ моделирования	DNDC	Регрессия	DNDC	Регрессия	DNDC	Регрессия
Агроценоз	-0,307	0,313	0,564	0,331	незначим	0,600
Пшеница	-0,430	0,411	0,584	0,292	незначим	0,641
Пар	0,088	0,057	0,458	0,434	0,478	0,239

В работах зарубежных авторов были отмечены случаи точного расчета потока CO_2 на основе DNDC в посевах ярового ячменя в Ирландии (Abdalla et al., 2011), а также в посевах риса и озимой пшеницы в Китае и кукурузы в США (Zhang et al., 2003).

Выводы

Таким образом, регрессионные модели наилучшим образом оценивают эмиссию CO_2 из почв под озимой пшеницей в зависимости от температуры и влажности почвы, а модель DNDC может наиболее успешно применяться для оценки дыхания парующей почвы. Пики эмиссии CO_2 в летнее время потенциально не могут быть предсказаны ни с помощью регрессионных моделей, ни через имитационное моделирование.

Литература

Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Мякшина Т.Н., Сапронов Д.В., Кудеяров В.Н. Эмиссия CO_2 из почв различных экосистем южно-таежной зоны: анализ данных непрерывных 12-летних круглогодичных наблюдений // Доклады Академии Наук. 2011. Т. 436. № 6. С. 843-846.

Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Розанова Л.Н., Кудеяров В.Н. Годовые потоки диоксида углерода из некоторых почв южно-таежной зоны России // Почвоведение. 2001. № 9. С. 1045-1059.

Тэйл Г. Экономические прогнозы и принятие решений. М.: Статистика, 1977. 282 с.

Abdalla, M., Kumar, S., Jones, M., Burke, J., Williams, M., Testing DNDC model for simulating soil respiration and assessing the effects of climate change on the CO2 gas flux from Irish agriculture // Global and Planetary Change. 2011. doi: 10.1016/j.gloplacha.2011.05.011

Davidson E.A., Janssens I.A., Luo Y. On the variability of respiration in terrestrial ecosystems: moving beyond Q_{10} // Global Change Biology. 2006. № 12. P. 154–164.

Li C., Frolking S., Frolking T.A. A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. Model structure and sensitivity // Journal of geophysical research. 1992. V. 97. № D9. P. 9759-9776.

Lopes de Gerenyu V.O., Kurganova I.N., Rozanova L.N., Kudeyarov V.N. Effect of soil temperature and moisture on CO_2 evolution rate of cultivated Phaeozem:analysis of a long-term field experiment // Plant Soil Environment. 2005. № 51 (5). P. 213–219.

Moyano F.E., Manzoni S., Chenu C. Responses of soil heterotrophic respiration to moisture availability: an exploration of processes and models // Soil Biology & Biochemistry. 2013. № 59. P. 72-85.

Nash J.E., Sutcliffe J.V. River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles //Journal of hydrology. 1970. Т. 10. №3. P. 282-290.

Smith J., Smith P., Wattenbach M., Gottschalk P., Romanenkov V., Shevtsova L., Sirotenko O., Rukhovich D., Koroleva P., Romanenko I., Lisovoi N. Projected changes in the organic carbon stocks of cropland mineral soils of European Russia and the Ukraine, 1990–2070 // Global Change Biology. 2007. V. 13. P. 342–356.

Zhang Y., Li C., Zhou X., Moore B. A simulation model linking crop grows and soil biogeochemistry for sustainable agriculture // Ecological modelling. 2002. № 151. P. 75-108.