

АНАЛИЗ КОМПОНЕТОВ АЗОТНОГО ОБМЕНА В ПАХОТНЫХ ПОЧВАХ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ DNDC

СУХОВЕЕВА О. Э.

ФГБУН Институт географии РАН, Москва
olgasukhoveeva@gmail.com

Аннотация. На примере пахотных почв Московской области с помощью модели DNDC воспроизведены параметры азотного обмена, в том числе эмиссия закиси азота. Наиболее значимым фактором для большинства компонентов признаны удобрения, особенно органические. В их отсутствие составляющие азотного обмена малочувствительны к условиям моделирования и, в основном, зависят от почвенно-климатических условий. Численные значения эмиссии закиси азота колеблются в небольшом диапазоне, при этом выпадающие осадки оказывают на них гораздо меньшее влияние по сравнению с почвообрабатывающими мероприятиями и внесением удобрений. Верификация по литературным данным показала, что результаты DNDC для нечерноземных пахотных почв могут отличаться от данных полевых измерений.

Ключевые слова. Агроэкосистемы, закись азота, картофель, цикл азота, яровая пшеница.

Введение

Компоненты цикла азота в почве, с одной стороны, формируют ее плодородие, с другой, являются парниковыми газами. В биомах с преобладанием земледелия сельскохозяйственного направления отмечаются наибольшие потери органического азота и эмиссия закиси азота (N₂O) (Моисеев, Алябина, 2007).

Ввиду сложности связей в системе «почва – растение – атмосфера» многие исследователи пытались описать их математически, что нашло свое отражение в создании имитационных моделей, отражающих биогеохимические циклы элементов. Одним из таких инструментов является DNDC (DeNitrification-DeComposition) – модель динамики азота и углерода в пахотных почвах (Li et al., 1992).

DNDC находится в свободном доступе и позволяет одновременно оценить циклы двух элементов, а также гидротермические условия в агроэкосистемах. Она входит в тридцатку лучших моделей почвенных процессов по данным International Soil Modeling Consortium и рекомендуется к использованию РКИК ООН в качестве альтернативы методикам МГЭИК. Модель широко используется в мире, в том числе в России – для оценки эмиссии N₂O из почвы под овощными культурами (Balashov et al., 2010, 2014).

Цель исследования состояла в применении модели DNDC для анализа составляющих биогеохимического цикла N в почвах сельскохозяйственного назначения. В задачи исследования входили: настройка модели для условий России, верификация по данным полевых опытов, оценка чувствительности к внешним условиям.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны пахотные почвы Московской области, поскольку именно для нее входные данные были наиболее полными. Моделирование проводилось на примере яровой пшеницы – одной из основных зерновых культур, вегетационный период которой охватывает один календарный год, и после созревания растительная масса убирается с поля, что дает возможность получить более точные результаты

для краткосрочного моделирования, а также картофеля – пропашной культуры, также однолетней, технология возделывания которой отличается наибольшим количеством почвообрабатывающих мероприятий.

По данным Единого государственного реестра почвенных ресурсов России (2014) определялись средневзвешенные параметры почвенного покрова. Среднесуточные данные о погодных условиях были взяты из базы ВНИИ ГМИ – МЦД по метеостанциям ВДНХ, Коломна и Можайск за 1990-2015 гг. Средние дозы вносимых органических и минеральных азотных удобрений были рассчитаны по данным Бюллетеней “Внесение удобрений под урожай и проведение работ по химической мелиорации земель”. Даты проведения агротехнических мероприятий определялись по типовым технологическим картам.

Оценка чувствительности результатов модели к антропогенному воздействию проводилась по вариантам, составленным по мере усложнения воздействия на почвенные процессы. В каждый следующий вариант включались все предыдущие, и вводился один новый компонент (схема вариантов представлена в подписи к рисунку 2).

При верификации в качестве входных данных воспроизводились условия опытов (почвенные, климатические и агротехнологические) по сведениям используемых статей, а выходные данные модели сравнивались с результатами полевых измерений компонентов азотного цикла.

Результаты и обсуждение

1. Настройка модели

Рассчитанная для пахотных почв Московской области эмиссия N_2O мала и в среднем составляет $0,58 \pm 0,79$ кг N- N_2O га⁻¹ год⁻¹, и лишь при избыточном внесении удобрений может достигать $3,5-5,1$ кг N- N_2O га⁻¹ год⁻¹. Небиологическое связывание атмосферного N зависит от особенностей почвенного покрова и метеоусловий и равно $6,65 \pm 1,64$ кг N га⁻¹ год⁻¹. Азотфиксация, среди полевых культур, возможна лишь у бобовых. Поступление N от корневых остатков, поверхностного притока и оттока влаги в рассматриваемом примере равны нулю. Также незначительно отличаются от нуля потоки оксида азота и молекулярного азота. Выщелачивание N в нижележащие слои почвы и вынос его с продукцией культур, поступление N от надземной биомассы, эмиссия аммиака и диоксида азота – прямо пропорциональны уровню химизации растениеводства, т.е. количеству вносимых удобрений.

2. Верификация модели

По результатам верификации было отмечено соответствие измеренных и смоделированных значений по таким показателям как вынос N картофелем и выщелачивание N озимой пшеницей и картофелем без удобрений (табл. 1). Расчетные значения были выше опытных по поступлению N в почву с атмосферными осадками, выщелачиванию его в агроценозах пшеницы и картофеля с применением удобрений (в 20 и 13 раз). Модель занижала вынос N озимой пшеницей и кормовой свеклой в 2 и 3 раза. Отчасти, подобное расхождение может быть вызвано осредненным характером используемых входных данных.

DNDC гораздо точнее воспроизводила эмиссию N_2O , чем регрессионные модели, и на примере северной части Бельгии ее результаты значительно лучше согласовались с данными полевых измерений на пашнях по сравнению с пастбищами (Beheydt et al., 2007). Для сенокосов южной Ирландии расчетная эмиссия N_2O превышала реальные параметры на 32%, тогда как фоновые значения были существенно ею занижены (Hsieh et al., 2005). На пастбищах северного Китая моделируемый поток N_2O был на 40% ниже результатов полевых измерений (Wang, Wang, 2003). В Ленинградской области модель переоценивала потоки N_2O в посевах ярового ячменя на

супесчаных подзолистых почвах с иллювиальным горизонтом при внесении различных доз азотных удобрений (Балашов и др., 2010). DNDC по сравнению с моделью SWAP лучше рассчитывала изменение влажности почвы после выпадения различного количества осадков, но проигрывала в точности оценки динамики температуры почвы (Balashov et al., 2014).

Таблица 1. Сопоставление данных моделирования с результатами полевых измерений (верификация модели DNDC по литературным источникам), кг N га⁻¹ год⁻¹

Параметры	Модельные значения	Полевые опытные данные			
		Значение	Регион	Почва	Ссылка
Поступление N с атмосферными осадками	4,4 - 8,3	3,3 - 4,3	Московская обл., Подольский р-н, опытное хозяйство ВИЖа "Щапово"	Дерново-слабоподзолистая, среднесуглинистая на покровном тяжелом суглинке	Иванов, 1969
Выщелачивание N					
• Озимая пшеница, без удобрений	0,4 - 0,8	0,6 - 0,9			
• Озимая пшеница, с удобрениями	4,3-36,7	0,9 - 1,1			
• Картофель, без удобрений	0,7 - 2,7	1,6 - 2,6			
• Картофель, с удобрениями	17,1-52,7	1,9 - 3,4			
Вынос N		68,7 - 114,3			
• Озимая пшеница	33,1-51,1				
• Картофель	24,7-68,6	61,4	Владимирская обл.	Дерново-подзолистая легкосупесчаная слабogleеватая	Лукин, Марчук, 2011
• Кормовая свекла	18,2 - 104,1	190 - 214	Москва, Опытная станция РГАУ-МСХА	Дерново-подзолистая среднесуглинистая	Кидин и др., 2009

3. Оценка чувствительности модели

Наибольший отклик потока N₂O в атмосферу отмечается на внесение минеральных удобрений, а также на проведение почвообрабатывающих мероприятий, тогда как всплеск эмиссии после ливневых явлений гораздо ниже, даже в годы с дефицитом летнего увлажнения (рис. 1). Поскольку в исходном варианте DNDC была создана как модель эмиссии N₂O, связанной с дождевыми явлениями (Li et al., 1992), отсутствие яркого отклика и относительно стабильное выделение N₂O в результате денитрификации, вероятно, связано с тем, что Московская область лежит в зоне достаточного увлажнения, и почвенная влага не является лимитирующим фактором для жизнедеятельности микроорганизмов в дерново-подзолистых почвах.

На примере супесчаных подзолистых почв северо-запада Европейской части России под яровым ячменем, картофелем и белокочанной капустой, наоборот, была отмечена чувствительность эмиссии N₂O, прогнозируемой с помощью DNDC, к сумме осадков, доле пор, заполненных водой и количеству азотных удобрений (Balashov et al., 2010).

При сельскохозяйственном использовании содержание N в пахотном слое почвы уменьшается, а сохранение возможно только при внесении удобрений, особенно органических, когда скорость накопления может более чем в 100 раз превышать поток в парующей почве

(табл. 2). Удобрения позволяют покрыть потери N, связанные с отчуждением растительной биомассы при уборке сельскохозяйственных культур, но одновременно повышает эмиссию N₂O (рис. 2). Следовательно, рациональное внесение минеральных и органических удобрений, рассчитанное с учетом характеристик почвенного покрова и, в частности, содержания в нем N, является основным средством не только поддержания почвенного плодородия, но и снижения эмиссии N₂O.

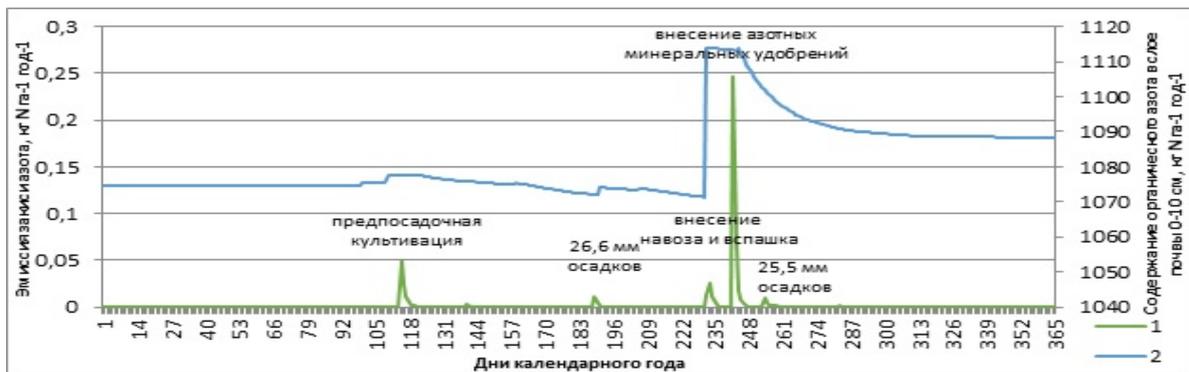
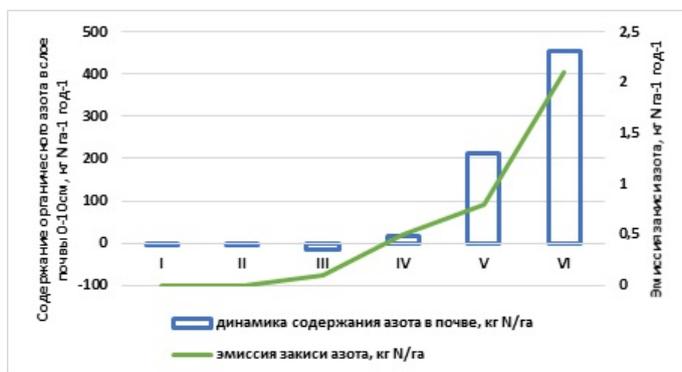


Рис. 1. Оценка чувствительности азотного блока модели DNDC к метеорологическим условиям (2011 г., год с дефицитом летнего увлажнения, когда было отмечено два ливня) и агротехнологическим мероприятиям, кг N га⁻¹ год⁻¹

1 – эмиссия закиси азота, 2 – содержание органического азота в слое почвы 0-10 см

Таблица 2. Оценка потоков азота в пахотных почвах Московской области на основе ступенчатого моделирования с помощью модели DNDC, кг N га⁻¹ год⁻¹

Культура	Пар	Яровая пшеница				Картофель			
Вариант	I	II	III	IV	V	II	III	IV	V
Поглощение из атмосферы	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
Выщелачивание	1,6	0,5	0,6	13,6	210,5	0,9	1,7	59,6	257,1
Поступление с растительными остатками	0,0	2,6	9,9	19,7	20,4	2,4	7,3	8,7	8,8
Вынос культурой	0,0	13,2	19,5	42,6	44,1	17,3	26,3	32,3	32,8
Эмиссия аммиака	0,7	0,3	0,3	0,5	2,8	0,4	0,6	1,2	4,5
Эмиссия закиси азота	0,1	0,0	0,1	1,5	5,1	1,0	0,3	0,7	3,5
Динамика содержания азота в почве	4,3	-4,9	-4,0	65,8	538,0	-9,8	-15,0	20,4	498,3



I – климат и почва (чистый пар); II – климат, почва и обработка почвы (обрабатываемый чистый пар); III – климат, почва, обработка почвы и растения (посевы культур); IV – климат, почва, обработка почвы, растения и минеральные удобрения (удобряемые посевы культур); V – климат, почва, обработка почвы, растения, минеральные и органические удобрения (удобряемые посевы культур с внесением навоза); VI – климат, почва, обработка почвы, растения, двойные дозы минеральных и органических удобрений (посевы культур с двойными дозами удобрений)

Рис. 2. Оценка чувствительности модели к различным типам антропогенного воздействия

Выводы

Для всех компонентов биогеохимического цикла азота в пахотных почвах наиболее значимым фактором являются вносимые удобрения, особенно органические. В их отсутствие составляющие азотного обмена малочувствительны к условиям моделирования и, в основном, зависят от почвенно-климатических условий. Численные значения эмиссии закиси азота колеблются в небольшом диапазоне, при этом выпадающие осадки оказывают на них гораздо меньшее влияние по сравнению с почвообрабатывающими мероприятиями и внесением удобрений. Верификация по литературным данным показала, что результаты DNDC для нечерноземных пахотных почв могут отличаться от данных полевых измерений.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-76-00023, а также в рамках госзадания Института географии РАН № 0148-2019-0009.

Список литературы

- Балашов Е.В., Бучкина Н.П., Рижия Е.Я., Павлик С.В. (2010) Прямые измерения и прогноз эмиссии закиси азота из почв с помощью модели DNDC // Снижение отрицательного воздействия на окружающую среду химически активного азота при производстве сельскохозяйственной продукции. Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства, СПб. С. 60-68.
- Иванов Ю.Д. (1969) Динамика органического вещества и баланс азота в прифермских севооборотах и под бессменными культурами на дерново-слабоподзолистой почве. – Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. ТСХА, М. 15 с.
- Кидин В.В., Гущина Е.О., Зенкина В.В. (2009) Потребление разных форм азота кормовой свеклой и особенности его трансформации в почвенном профиле // Известия ТСХА. Вып. 1: 5-12.
- Лукин С.М., Марчук Е.В. (2011) Влияние биопрепаратов ассоциативных азотфиксирующих микроорганизмов на урожайность сельскохозяйственных культур // Достижения науки и техники АПК, 8: 18-21.
- Моисеев Б.Н., Алябина И.О. (2007) Оценка и картографирование составляющих углеродного и азотного балансов в основных биомах России // Изв. РАН. Сер. геогр. 5: 116-127.
- Balashov E., Buchkina N., Rizhiya E., Farkas C.S. (2014) Field validation of DNDC and SWAP models for temperature and water content of loamy and sandy loam spodosols // International agrophysics. Vol. 28, 2: 133-142.
- Balashov E., Horak J., Siska B., Buchkina N., Rizhiya E., Pavlik S. (2010) N₂O fluxes from agricultural soils in Slovakia and Russia – direct measurements and prediction using the DNDC model // Folia Oecologica. Vol. 37, 1: 8-15.
- Beheydt D., Boeckx P., Li C., van Cleemput O. (2007) Validation of DNDC for 22 long-term N₂O field emission measurements // Atmospheric Environment. Vol. 41, 29: 6196-6211.
- Hsieh C.-I., Leahy P., Kiely G., Li C. (2005) The effect of future climate perturbations on N₂O emissions from a fertilized humid grassland // Nutrient Cycling in Agroecosystems. Vol. 73, 1: 15-23.
- Li C., Frolking S., Frolking T.A. (1992) A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. Model structure and sensitivity // Journal of geophysical research. Vol. 97, D9: 9759-9776.
- Wang M., Wang Y. (2003) Using a modified DNDC model to estimate N₂O fluxes from semi-arid grassland in China // Soil biology and biochemistry. Vol. 35, 4: 615-620.

THE ANALYSIS OF NITROGEN EXCHANGE COMPONENTS IN ARABLE SOILS WITH THE MODEL DNDC

SUKHOVEEVA O. E.

Institute of geography RAS, Moscow, Russia
olgasukhoveeva@gmail.com

Abstract. By the example of arable soils in Moscow region, the parameters of nitrogen exchange were calculated with the model DNDC, including nitrous oxide. Fertilizers, especially organic, were recognized as the most significant factor for many components. If they absent, the parameters of nitrogen exchange are insensitive to the modeling features and mainly depend on soil and climatic conditions. The values of nitrous oxide emissions fluctuate within a narrow range, and precipitation influence on it much less in comparison to tillaging and fertilizer application. Verification on the base of literature data showed that DNDC results for non-chernozem arable soils may differ from field measurements of nitrogen cycle components.

Keywords. Agroecosystems, nitrogen cycle, nitrous oxide, potato, spring wheat.