

## ГЛОБАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА АЗОТА: ПРИЧИНЫ, ПОСЛЕДСТВИЯ, ИССЛЕДОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

<sup>1</sup>Мединец С.В., <sup>1</sup>Мединец В.И., <sup>1</sup>Котогура С.С., <sup>1</sup>Пицык В.З.,  
<sup>2</sup>Скиба У. М., <sup>2</sup>Саттон М. А.

<sup>1</sup>Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова, Одесса  
<sup>2</sup>Центр экологии и гидрологии, Эдинбург, Великобритания

Что мы знаем об азоте и какова его роль для нормального функционирования экосистемы? Какие угрозы скрывают в себе соединения самого распространенного (78%) в атмосфере земли газа? Попытаемся разобраться в этом, используя литературные данные последних лет, результаты интегрированного международного проекта ЕС FP6 "Цикл азота и его влияние на баланс парниковых газов в Европе" (NitroEurope), которые послужили основой для проведенной в 2011 г. первой «Европейской оценки азота» (Sutton et al., 2011). Известно, что большая часть азота в атмосфере находится в неактивной N<sub>2</sub> форме. Однако, преимущественно в связанных формах азот является ключевым питательным элементом для всех живых организмов, в тоже время в избыточном количестве может быть причиной многих проблем (Sutton et al., 2011). Именно биодоступность азота является лимитирующим фактором при образовании 'чистой' первичной продукции в наземных экосистемах (Vitousek and Howarth, 1991; De Vries et al., 2006). Было установлено, что глобальный биогеохимический цикл азота контролируется преимущественно микробиологическими процессами (Seitzinger et al., 2006). В настоящее время поступление антропогенного азота может привести к значительному насыщению им различных экосистем (De Vries et al., 2007; Erisman et al., 2008).

В результате полученных и литературных данных были определены следующие основные угрозы (Sutton et al., 2011), влияющие на:

- **Качество воды.** В одной лишь западной Европе более 10 млн. человек потребляют питьевую воду с концентрацией NO<sub>3</sub><sup>-</sup> превышающей рекомендованный уровень. Химически активные соединения азота, поступающие из рек в море, являются причиной цветения токсичных водорослей и образования мертвых зон, особенно в Северном, Адриатическом, Балтийском морях и вдоль побережья Бретани

- **Качество воздуха.** NH<sub>3</sub> и оксиды азота, поступающие в атмосферу от сельскохозяйственной, промышленной деятельности, транспорта и бытовой сферы вносят свой вклад в повышение концентраций взвешенных частиц (PM), приземного O<sub>3</sub> и оксидов азота в воздухе, которым мы дышим. Оценено, что твердые частицы снижают длительность жизни более чем на 6

месяцев почти по всей центральной Европе

- **Экосистемы и биоразнообразие.** Снижение биоразнообразия в Европе на протяжении последних десятилетий также ассоциируется с атмосферными выпадениями химически активных соединений азота. Оценено, что уже потеряно почти 20% растительных видов, причем редкие чувствительные виды были утрачены первыми. К примеру, в Великобритании число дикорастущих видов на загрязненных территориях вдвое меньше, чем на чистых.

- **Качество почвы.** Химически активные соединения азота, поступающие в почву как с удобрениями, так и с атмосферными выпадениями, могут способствовать закислению почвы, что ведет к снижению урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности лесов, а также к ассоциируется с поступлением тяжелых металлов (вымывание) в источники питьевой воды

- **Баланс парниковых газов.** Несмотря на то, что поступление  $N_2O$  из почвы в атмосферу составляет около 4% эмиссии парниковых газов на территории Европы, эффекты потепления и похолодания также связывают с эмиссией закиси азота, в связи с его слабой реакционной способностью и продолжительным временем пребывания в атмосфере (около 120 лет). Похолодания могут быть результатом повышения содержания взвешенных частиц (PM) и интенсивности выпадений соединений азота на лесные массивы, которые в свою очередь так же оказывают прямое негативное влияние на здоровье людей и биоразнообразие соответственно.

По результатам последних исследований, в частности, проекта NitroEurope были разработаны ответные мероприятия для смягчения и уменьшения негативных воздействий азота в различных сферах жизнедеятельности (Sutton et al., 2011):

**1. Сельское хозяйство.** Оптимизация использования N в органических и синтетических удобрениях через улучшение менеджмента и технологии позволит уменьшить поступление 'избыточного' N в окружающую среду

**2. Транспорт и промышленность.** Повышение эффективности использования топлива и поощрение на государственном уровне разработок и активного применения альтернативных источников топлива и возобновляемых источников энергии, таких как солнечная, ветровая и энергия волн

**3. Утилизация сточных вод.** Применение новых технологий менеджмента сточных вод для повторного использования азота и фосфора

**4. Бытовая сфера.** Уменьшение потребления электроэнергии и топлива снизит азотное загрязнение, а также благотворно скажется на климате. Ограничение потребления чрезмерного количества животных протеинов (мясо, молочные продукты) – это еще один путь к уменьшению нашего личного “азотного следа”.

Помимо общеевропейской оценки угроз вызываемых азотными соединениями были получены не менее значимые и интересные данные относительно особенностей поступления и выведения соединений азота в каждом конкретном регионе, на территории которого были проведены исследования. На территории Украины в рамках международного проекта ЕС FP6 NitroEurope (017841) были исследованы и определены «фоновые» концентрации и основные источники загрязнения азот-содержащих соединений в сельскохозяйственных районах Одесской области. Основные исследования были проведены на станции атмосферного мониторинга «Петродолинское» (PTR-UA, 46°27'22.12"N; 30°20'9.94"E) Одесского национального университета им. И. И. Мечникова (ОНУ) в 2006 – 2011 гг., которая расположена неподалеку от населенного пункта «Мирное», 27 км на юго-восток от г. Одесса. Станция расположена в центре пахотного поля, общей площадью 30 га с относительно гомогенной топографией на высоте 66 м над уровнем моря. Почва участка представлена черноземами южными (Chernozems Vermi-Calcic (CH vec)), типичными для юга Украины.

Нами были определены средние концентрации газовых ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ) и аэрозольных ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) соединений азота в воздухе, которые составили  $2,32 \pm 1,35$  мкг N м<sup>-3</sup> и  $1,89 \pm 1,62$  мкг N м<sup>-3</sup> соответственно. Повышение концентраций газовых соединений азота регистрировалось в весенне-летний период во время и в течении 2-3 недель после внесения удобрений и обработки земли. Концентрация аэрозольных соединений обычно возрастала в зимний период. Измерение потоков  $\text{NH}_3$  и  $\text{N}_2\text{O}$  проводилось только до/в/после периода выращивания злаковых культур без использования капельного орошения и с единоразовым внесением небольшого количества удобрений (30 кг N га). Результаты исследований показали, что при данной схеме менеджмента не наблюдается статистически значимых годовых эмиссий/поглощения  $\text{NH}_3$  (среднегодовой бюджет по аммиаку составил  $-159,9 \pm 321,9$  г N га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>). Нами было установлено, что среднегодовой поток  $\text{N}_2\text{O}$  был незначительным ( $214,5 \pm 123,3$  г N га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>), наблюдалась положительная корреляция эмиссий закиси азота с количеством осадков ( $r = 0,51$ ;  $p < 0,07$ ). Показано, что при данной схеме выращивания злаковых культур в данных климатических условиях эмиссии  $\text{N}_2\text{O}$  не оказывают значительного влияния на баланс парниковых газов. Более того эмиссии, вызванные внесением удобрений составили 0,27%, что гораздо ниже, чем рекомендованный IPCC 1%-ный допустимый фактор эмиссий. Было выявлено, что основным источником обогащения соединениями азота (помимо внесенных удобрений) для Одесской области (юго-западной части Украины) являются атмосферные выпадения ( $39,5$  кг N га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>). Отношение суммы годовых выпадений к сумме внесенных удобрений колеблется от 30 до 120%, что позволяет расценивать данный источник как значительный и на сегодняшний день

неучтенный, хоть и неотъемлемый. Теоретически биодоступность азотных выпадений достаточно велика и сравнима с внесением минеральных удобрений. Было показано, что суммарные выпадения азота состоят из двух основных групп: 28% (10,9 кг N га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>) – это органические соединения и 72% (28,6 кг N га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>) – это соединения неорганического азота в форме NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> и NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Дальнейшие более детальные исследования необходимы для определения химического состава органической составляющей атмосферных выпадений и выявления источников и/или механизмов образования данных соединений.

В заключение следует отметить, что атмосферно-химические исследования на станции мониторинга «Петродолинское» дали возможность впервые для Украины не только получить уникальные экспериментальные данные по азотным соединениям (бюджету, балансу, концентрациям), но и создать базу для дальнейших исследований в данном направлении и начать внедрение системы атмосферного мониторинга с использованием современных европейских методов и оборудования.

### *Литература*

De Vries W., van der Salm C., Reinds G.J. and Erisman J.W. (2007). Element fluxes through European forest ecosystems and their relationships with stand and site characteristics. *Environmental Pollution*, 148, 501-513

Erisman J.W., Sutton M.A., Galloway J., Klimont Z. And Miniwarter W. (2008). How century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience*, 1, 636-639

Seitzinger S., Harrison J.A., Bohlke J.K. et al. (2006). Denitrification across landscapes and waterscapes^ a synthesis. *Ecological Applications*, 16, 2064-2090

Sutton M. A. (ed.), Howard C. M. (ed.), Erisman J. W. (ed), Billen G. (ed.), Bleeker A. (ed.), Grennfelt P. (ed.), Van Grinsven H. (ed.), Grizzetti B. (ed.) (2011) *The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives*. Cambridge University Press, 664 p., ISBN: 9781107006126

Vitousek P.M. and Howarth R.W. (1991). Nitrogen limitation on land and in the sea: how can it occur? *Biogeochemistry*, 13, 87-115