

## УПРАВЛЕНИЕ АЗОТНЫМ ПИТАНИЕМ РАСТЕНИЙ В ПОЧВЕ

А.А. Завалин, д.с.-х.н., Г.Г. Благовещенская, к.б.н., Л.С. Чернова, к.с.-х.н., Н.Я. Шмырева, к.б.н.  
Всероссийский НИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, e-mail: bioazot@mail.ru

Приведены сведения об объемах внесения минеральных и органических удобрений при производстве растениеводческой продукции в Российской Федерации. Оценен вклад биологического азота в земледелие страны. Показан баланс азота, формирующийся при достигнутых уровнях урожайности сельскохозяйственных культур, который остается резко отрицательным. Даны размеры газообразных потерь азота в виде аммиака из минеральных и органических удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур в основных почвенно-климатических зонах страны. Эти сведения основаны на использовании удобрений, меченных стабильным изотопом азота  $^{15}\text{N}$ . Показано, что улетучивание аммиака из удобрений связано с типом почвы, видом сельскохозяйственных культур, технологиями их возделывания и с погодными условиями. Эмиссия аммиака происходит при изменении микробного статуса в почве, в этой связи приводятся сведения о его трансформации в разных типах почв России.

Ключевые слова: азотное питание растений, микробиоценоз почвы, снижение потерь азота из почвы и удобрений.

## MANAGEMENT OF PLANT NITROGEN NUTRITION IN SOIL

A.A. Zavalin, G.G. Blagoveshchenskaya, L.S. Chernova, N.Ya. Shmyreva

Data about application of the mineral and organic fertilizers for agricultural production in Russian Federation are presented. Input of biological nitrogen in agriculture is estimated. Nitrogen balance forming at current agricultural crop yield level is sharply negative. Volumes of nitrogen gas losses in ammonia form from the mineral and organic fertilizers during cultivation of agricultural crops at main soil-climatic zones are presented. These data based on application of fertilizers, marked by stable isotope of  $^{15}\text{N}$ . It's shown that ammonia volatilization from fertilizers depends on soil type, variety of agricultural crop, cultivation technologies and weather conditions. Ammonia emission takes place at transformation of microbial status in soil, for understanding of it data about microbial transformation in different soil types of Russia is given.

Keywords: plant nitrogen nutrition, microbiocoenosis of soil, decrease of nitrogen losses from soil and fertilizers.

Среднегодовой объем производства минеральных удобрений в России составляет около 17 млн. т, в том числе 7,4 млн. т азотных. Применение минеральных удобрений (в пересчете на 100% питательных веществ) составляет 2,02 млн. т в год. С минеральными азотными удобрениями вносят 1,31 млн. т азота, с органическими удобрениями – 0,27 млн. т азота, с биологическим азотом поступает 0,71 млн.т. Ежегодный вынос азота с урожаем в среднем за 2007-2011 гг. достигает 3,26 млн. т, хозяйственный баланс за год в среднем составляет минус 0,97 млн. т. При прогнозируемом к 2020 г. расширении площадей, занимаемых бобовыми культурами, увеличении их урожайности и повышении долевого участия бобового компонента в травосмесях многолетних трав до 50% может быть накоплено около 1,7 млн. т фиксированного азота, что превысит объем применяемых минеральных удобрений.

С помощью стабильного изотопа  $^{15}\text{N}$  установлено, что коэффициент использования растениями азота удобрений в полевых условиях не превышает 30-50%. Из почвы в виде газообразных продуктов теряется 15-30% азота удобрений, иммобилизация в органическое вещество почвы составляет 20-40%, а потери за счет вымывания нитратов могут достигать 10% и более [1]. Газообразные потери азота почвы и удобрений происходят в результате денитрификации, аммонификации и нитрификации в форме молекулярного азота ( $\text{N}_2$ ), его окислов ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ) и аммиака ( $\text{NH}_3$ ) (Макаров, 1977). Газообразные потери азота при паровании дерново-подзолистой почвы составляют 50% азота удобрений и 50% азота почвы, в севообороте – 70% азота почвы и 30% азота удобрений, на целине наоборот: 30% азота почвы и 70% азота удобрений [2].

Размеры газообразных потерь азота зависят от времени суток. Например, на дерново-подзолистой почве интен-

сивность выделения  $\text{NH}_3$  при внесении сульфата аммония 120 кг/га и мочевины в дневные часы была вдвое выше, чем в ночные, что связано с температурой почвы [3].

Газообразные потери азота в форме аммиака из чернозема выщелоченного при паровании почвы в результате интенсивных процессов минерализации происходят в течение всего лета. За теплый период азота аммиака теряется около 4 кг/га, что составляет около 1-2% от количества минерального азота, накопившегося на 1 га парового поля в слое 0-50 см. В контролируемых условиях при компостировании дерново-подзолистой почвы и чернозема выщелоченного при внесении сульфата аммония основные потери аммиачного азота почвы и удобрений происходят в первые 15-20 дней, с максимумом в течение недели после внесения удобрения (Гамзиков и др., 1985).

Основная часть азота теряется в первый месяц после внесения удобрений, затем выделение аммиака значительно снижается, так как в результате нитрификации большая часть азота переходит в нитратную форму [4, 5]. Интенсивное выделение аммиака из дерново-подзолистой почвы происходит в течение 10 суток после внесения азотных удобрений, через 2-3 недели выделение  $\text{NH}_3$  из почвы прекращается совсем [6]. Размеры улетучивания аммиака из почвы зависят от формы азотного удобрения. По величине потерь  $\text{NH}_3$  из почв азотные удобрения в порядке возрастания располагаются следующим образом: сульфат аммония (3-14% от внесенного количества), аммиачная селитра (1-14%), мочевины (2-20%), водный аммиак (45-53%) (Макаров и др., 1976; Кореньков, 1999; Осипов, Соколов, 2001).

Размеры потерь азота и агрономическая эффективность азотных удобрений связаны с глубиной их заделки в почву. Максимальные газообразные потери азота удоб-

рений на дерново-подзолистых и черноземных почвах происходят при поверхностном внесении мочевины и при мелкой ее заделке на глубину 3-5 см, а при заделке на глубину до 15 см потери азота практически исключаются. На обыкновенном черноземе внесение аммиачной селитры, сульфата аммония и мочевины на глубину 18-20 см (под вспашку) в несколько раз снижает интенсивность выделения аммиака из почвы по сравнению с их заделкой на глубину 1-2 см (под боронование). Уменьшение газообразных потерь азота удобрений при глубокой заделке происходит в результате снижения интенсивности микробиологических процессов; при этом газы, образующиеся в процессе аммонификации, денитрификации и нитрификации, проходя через большой слой почвы, более полно поглощаются ею. По данным Э.Р. Мовсунова [4], улетучивание азота удобрений в форме аммиака достигало значительных размеров (20-30%) при поверхностном внесении и поздней заделке удобрения в почву. Совмещение сроков внесения и заделки удобрений уменьшает потери азота в форме аммиака до 2-7%.

Потери  $\text{NH}_3$  из минеральных удобрений зависят от влажности почвы. Так, при увеличении ее с 25 до 75% полной влагоемкости (ПВ) потери аммиака из сульфата аммония и аммиачной селитры снижаются в 2 раза, из мочевины – в 1,5 раза (Кореньков, 1999). Потери азота в форме  $\text{NH}_3$  возрастают при изменении реакции почвенной среды с 5% (при pH 6 и ниже) до 60% при pH 8. При поверхностном внесении мочевины потери аммиака при температуре воздуха  $7^\circ\text{C}$  были менее 5%, а при  $32^\circ\text{C}$  они возросли до 25%. На дерново-подзолистой почве при внесении мочевины выделение  $\text{NH}_3$  увеличивается с 3,6% при pH 5,0 и влажности 60% ПВ до 12,6-24,6% при pH 6,0 и влажности 75% ПВ. В контролируемых условиях вегетационного опыта максимальные потери аммиака из мочевины наблюдались при температуре  $28^\circ\text{C}$  и влажности почвы 7-10%. Снижение влажности до 4,5% резко сокращало потери. При увеличении влажности почвы потери аммиака также снижались и при 30% составляли 1,9% [7].

Наблюдения с применением стабильного изотопа азота в полевых опытах показали, что при выращивании яровой пшеницы, проса и сахарной свеклы на мощных типичных черноземах газообразные потери азота в форме  $\text{NH}_3$  не обнаружены (Макаров, 1977). В опыте на серой лесной почве установлено, что количество выделившегося  $\text{NH}_3$  составляло очень незначительные величины – 0,23-0,62% от внесенной дозы [5]. При внесении в дерново-подзолистую почву аммиачной селитры, сульфата аммония или кальциевой селитры, меченых изотопом  $^{15}\text{N}$ , состав газообразных потерь состоял из:  $\text{N}_2$  – 70-80%,  $\text{N}_2\text{O}$  – 16-24%,  $\text{NO}$  – 2-3%,  $\text{NO}_2$  – 1-2% и  $\text{NH}_3$  – 0,1-1%.

Основным источником выделения аммиака в сельском хозяйстве служит животноводство. Так, от комплекса на 216 тыс. голов свиней за 1 час в атмосферу в летний период поступает 80 кг аммиака (Судаков, 1996). Через систему вентиляции комплекса на 10 тыс. молодняка крупного рогатого скота в атмосферу ежесуточно поступает 57 кг аммиака, а от свиноводческого комплекса на 108 тыс. голов – 1,3 т (Плященко и др., 1990). В воздушной среде вблизи свиноводческих комплексов образуется сульфат аммония в результате реакции между аммиаком и двуокисью серы, который с природными осадками выпадает в почву, повышая ее кислотность. При намечающемся в России к 2020 г. росте поголовья

скота и птицы выход навоза и помета достигнет 178 млн. т в пересчете на подстилочный навоз. Использование его в земледелии позволит вовлечь в хозяйственно биологический круговорот около 36 млн. т органического вещества и 2,7 млн. т NPK, в том числе 0,89 млн. т азота.

Озимая пшеница на супесчаной почве использует 13,7% азота бесподстилочного навоза, при этом 69,9% азота навоза закрепляется в почве и 12,7% теряется в виде газообразных соединений (Варюшкина и др., 1979). При внесении органических удобрений газообразные потери азота составляют 15-16% (Мамченков и др., 1977; Алейникова, 1979; Варюшкина и др., 1979). Размеры потерь существенно меняются в зависимости от вида органического удобрения, что связано с соотношением углерода и азота: зеленая масса овса – 9-12%; бесподстилочный навоз – 13-25%, зеленая масса люпина – 17-23% от внесенного азота. Потери аммиачного азота за четыре месяца хранения навоза резко уменьшаются с увеличением дозы суперфосфата, добавляемого к навозу, который при компостировании подавляет жизнедеятельность микроорганизмов. Запашка соломы злаковых культур в дерново-подзолистую почву снижает газообразные потери в форме аммиака и двуокиси азота в 1,5-2,0 раза (Макаров, 1988; Лаврова, 1992).

Процесс минерализации азотсодержащих органических соединений с выделением аммиака осуществляется многими микроорганизмами в широком диапазоне условий, за исключением мест с очень жарким и сухим климатом, где происходит мумификация мертвых остатков. Наиболее динамичное звено в цикле азота – аммонификация белков. В этом процессе участвуют многие как аэробные, так и анаэробные микроорганизмы различных таксономических групп. Аммиак, образующийся при микробном разложении азотсодержащих соединений растительного и животного происхождения, частично адсорбируется на глинисто-гумусовых комплексах или нейтрализует почвенные кислоты, потребляется растениями как источник азота и иммобилизуется в процессе метаболизма почвенных микроорганизмов, выделяется в атмосферу, окисляется в нитриты и нитраты.

Потери аммиака из почвы и удобрений связаны прежде всего с деятельностью микроорганизмов, которая в значительной степени зависит от соотношения C:N в разлагаемом субстрате, чем меньше это соотношение, тем выше эффективность аммонификации. На каждые 100 г разложенного органического вещества (50 г углерода) бактерии используют на синтез белка своей биомассы 2 г азота (C:N = 25). При содержании азота в органическом веществе менее 2%, он будет полностью иммобилизован в клетках микроорганизмов, при более высоком, когда C:N < 25, происходит выделение аммиака (Бабьева, Зенова, 1989).

Черноземным почвам России свойственны концентрации органического углерода в пределах от 2,3 (низкая обеспеченность) до 4,3% (средняя обеспеченность) и общего азота – от 0,22 до 0,52%. Отношение C:N составляет 9,3-13,5, что свидетельствует о слабой интенсивности мобилизационных процессов и наличии в почве достаточного количества слабоминерализованных веществ. Микробоценоз целинных участков черноземов на 70-90% и более представлены микроорганизмами, участвующими в превращении органических и минеральных форм азота, причем нитрифицирующие бактерии доминируют над

аммонифицирующими, о чем свидетельствует коэффициент минерализации, который изменяется в пределах 1,4-1,8. Распашка черноземов и длительное (более 30 лет) их агрогенное использование направленности процессов не изменило численность микроорганизмов, использующих органические и минеральные формы азота, и их соотношение изменялось незначительно, что можно характеризовать как реакцию в пределах зоны гомеостаза. Близкие результаты по микробоценозу были получены в длительном (21 год) полевом опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при сравнительном изучении различных систем удобрения культур севооборота.

**Обобщение большого числа исследований (около 100 отечественных и зарубежных публикаций) позволило наметить основные пути сокращения газообразных потерь азота из почвы и удобрений:**

- **Приближение сроков внесения азотных удобрений к посеву, а также к периоду начала активного потребления растениями азота.**

- **Глубокая заделка и локальное внесение удобрений.**

- **Учет форм азота в удобрениях при выборе способов их внесения.**

- **Известкование кислых почв и применение медленнодействующих азотных удобрений.**

- **Выявление размеров газообразных потерь азота из навоза в цепи «ферма – навозохранилище – поле» применительно к почвенно-климатическим условиям России.**

- **Определение изменений агрохимических, физико-химических и биологических свойств почв при длительном применении различных видов навоза для мониторинга экологического состояния агроландшафтов.**

- **Изучение потоков азота почвы и удобрений, включая газообразные потери, использование растениями, закрепление в почве, вымывание с дренажными водами и степени устойчивости агроэкосистем при использовании навоза (исследования с  $^{15}\text{N}$ ).**

- **Оценка качества растениеводческой продукции, получаемой при внесении различных видов органических удобрений.**

### Литература

1. Макаров Н.Б. Газообразные потери азота удобрений на мощных типичных черноземах Курской области // *Агрохимия*, 1977, № 9. – С. 3-6.
2. Кидин В.В., Ионова О.Н. Превращение в дерново-подзолистой почве и баланс азота разных форм и доз удобрений в условиях длительного лизиметрического опыта // *Агрохимия*, 1993, № 11. – С. 3-20.
3. Макаров Б.Н., Патрикеева Т.А. Суточный ход выделения аммиака и двуокси азота из почвы // *Агрохимия*, 1973, № 2. – С. 141-143.
4. Мовсунов Э.Р. Потери азота в виде аммиака из внесенных в карбонатные почвы азотных удобрений // *Агрохимия*, 1969, № 5. – С. 25-28.
5. Кудеяров В.Н., Биелек П., Соколов О.А., Кноп К. и др. Баланс азота и трансформация азотных удобрений в почвах. – Пушкино, ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1986. – 160 с.
6. Макаров Б.Н., Макаров Н.Б. Газообразные потери азота почвы и удобрений // *Агрохимия*, 1976, № 12. – С. 120-130.
7. Кореньков Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. – М., 1999. – 299 с.

## ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ



*Алексей Анатольевич Завалин* родился 16 августа 1952 г. в Кировской области.

В 1975 г. с отличием окончил агрономический факультет Кировского СХИ по специальности Агрономия на кафедре агрохимии и почвоведения.

После окончания аспирантуры ВИУА в 1979 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Влияние сложных удобрений на урожай и качество озимой ржи и картофеля на дерново-подзолистой супесчаной почве», в 1991 г. – докторскую диссертацию на тему «Удобрения сельскохозяйственных культур на осушаемых минеральных почвах Центрального района России».

С 1978 по 2001 г. работал в ВИУА научным сотрудником, заведующим лабораторией, в настоящее время – заведующий лабораторией агрохимии биологического и минерального азота ГНУ ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова. В 1997 г. присвоено звание профессора. С 2001 г. работает в аппарате Президиума Россельхозакадемии. Им опубликовано 296 работ, подготовлено 5 докторов и 39 кандидатов биологических и сельскохозяйственных наук.

А.А. Завалин – член-корр. Россельхозакадемии, ученый в области азотного питания растений, регулирования урожайности и качества растениеводческой продукции при применении азотных удобрений и биопрепаратов, использования биологического азота в земледелии России. Член советов по защите докторских и кандидатских диссертаций ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова и Почвенного института им. В.В. Докучаева, а также член 6 редколлегий научных журналов, в число которых входит и «Агрохимический вестник».

**Редакция и редколлегия журнала «Агрохимический вестник» сердечно поздравляют Алексея Анатольевича с юбилеем и желают ему доброго здоровья, новых учеников и успехов в научной работе.**