УДК 631.811.1

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ АММОНИЙНОГО И НИТРАТНОГО АЗОТА В РАЗНЫХ ГОРИЗОНТАХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

В.В. КИДИН, Е.Н. ИЛЬЮК

(Кафедра агрономической и биологической химии)

Применение стабильного изотопа азота (^{15}N) в лизиметрических исследованиях с дерново-подзолистой среднесуглинистой почвой в качестве искусственной метки для изучения путей трансформации аммонийного и нитратного азота почвы позволило установить закономерности потребления разных форм минерального азота растениями, размер его иммобилизации и потерь в зависимости от пространственного расположения в почвенном профиле.

Оптимизация минерального питания с.-х. культур является важнейшим фактором, определяющим урожайность и качество продукции. При этом наиболее существенное влияние на рост и развитие растений и эффективность азотных удобрений оказывает содержание минерального азота в почве в начале вегетации. Применение азотных удобрений без учета содержания минерального азота в корнеобитаемом слое почвы снижает их эффективность и вызывает опасность загрязнения окружающей среды и с.-х. продукции нитратами.

В результате исследований, проведенных в различных почвенно-климатических зонах [1, 3-7], установлено, что количественная и качественная оценка содержания минерального азота в почве и использования его с.-х. растениями дает возможность более точно определить оптимальные дозы азотных удобрений и скорректировать сроки их внесения с учетом погодных условий, предшественника, плодородия почвы и планируемой урожайности.

Почвенная диагностика является достаточно надежным методом определения потребности с.-х. культур в азотном питании и удобрении, однако большая трудоемкость процесса отбора образцов почвы для анализа, особенно в подпахотных горизонтах, а также слабая изученность вопроса о размерах использования растениями минерального азота из разных слоев почвы существенно ограничивает широкое применение этого метода. Особенно важным в почвенной диагностике остается вопрос о доступности растениям аммонийного и нитратного азота почвы из разных горизонтов.

Д.Н. Прянишников писал, что равноценные в физиологическом отношении аммонийная и нитратная формы азота могут использоваться сельскохозяйственными растениями в полевых условиях с неодинаковой эффективностью в зависимости от кислотности и гранулометрического состава почвы [8].

Несмотря на исследования, проведенные в более поздний период [1~3, 7], вопрос о преимущественном использовании растениями раз-

ных форм минерального азота почвы до настоящего времени остается спорным. Большое количество противоречивых экспериментальных данных не только не позволило уточнить роль аммонийного и нитратного азота почвы в питании растений на отдельных этапах онтогенеза, а, наоборот, способствовало формированию диаметрально противоположных мнений по этому вопросу, что тормозило принятие практических решений.

До настоящего времени остаются дискуссионными сроки и глубина отбора образцов при осуществлении почвенной диагностики содержания минерального азота под посевами зерновых и пропашных культур. Так, многие авторы [3—7] считают, что наиболее тесная корреляционная зависимость между содержанием минерального азота в почве и урожайностью с.-х. культур достигается при взятии образцов почвы на глубину до 1 м. В то же время другими исследователями [1, 5, 6] показана возможность ограничиваться при почвенной диагностике азотного питания взятием проб на глубину 40-60 см. Не менее противоречивые результаты получены также при определении сроков проведения почвенной диагностики азотного питания [1, 4-6] и размеров использования с.-х. культурами минерального азота почвы [3-7],

По нашему мнению, причина столь противоречивых результатов заключается, вероятно, в том, что лабильное соотношение аммонийной и нитратной форм азота в почве, вызванное постоянно протекающими в ней процессами аммонификации, нитрификации и денитрификации, а также неодинаковая их доступность растениям из разных горизонтов почвы делают в методическом аспекте невозможным определение реальных коэффициентов использования разных форм азота почвы без применения стабильного изотопа..

Методика

Задачей настоящей работы было изучение с помощью стабильного изотопа ^{15}N размера потребления кукурузой аммонийного и нитратного азота почвы из разных горизонтов дерново-подзолистой почвы. Исследования проводили в лизиметрических опытах кафедры агрохимии РГАУ - МСХА. В качестве лизиметров использовали цилиндрические металлические сосуды площадью 0,2 м^2 и высотой 1 м, вмещающие 290—295 кг почвы. Лизиметрические сосуды набивали в 1975 г. дерново-подзолистой среднесуглинистой почвой с сохранением естественной последовательности генетических горизонтов. Глубина пахотного горизонта составляла 20-22 см, подпахотного переходного горизонта — 15-17 см и иллювиального горизонта — 46-48 см. Очередное известкование почвы по полной гидролитической кислотности было проведено осенью 1998 г. Агрохимический анализ почвы пахотного и подпахотных слоев (табл. 1) проводили общепринятыми методами перед закладкой опыта с кукурузой в 1999 г. Содержание аммонийного и нитратного азота в разных слоях почвы (табл. 2) определяли ежегодно (1999-2001 гг.) перед посевом кукурузы.

В качестве фосфорных и калийных удобрений ежегодно использовали смесь одно- и двухзамещенного фосфата калия (KH_2P0_4 и K_2HP0_4) из расчета 2,4 г на лизиметр (120 кг/га) P_20_5 и K_20. Подкормку кукурузы азотом проводили в фазу 6-7 листьев немеченой ам-

Таблица 1

Агрохимическая характеристика профиля дерново-подзолистой почвы

Глубина слоя почвы, см	pH KCl	Содержание общего азота, мг/100 г	H_r	S	P_2O_5	K_2O
			мгэкв/100 г		мг/кг	
0–20	6,4	108	1,6	9,2	145	178
20–40	6,0	54	1,4	5,7	89	112
40–60	6,1	59	1,7	7,3	73	86
60–80	5,5	31	2,1	6.3	58	65
80–100	5,2	24	2.6	6,4	52	68

Таблица 2

Содержание минерального азота в разных слоях почвы перед посевом кукурузы
(в среднем за 3 года)

Глубина слоя почвы, см.	Содержание минерального азота в слое почвы		Масса слоя почвы в лизиметре, кг	Плотность почвы, г/см^3
	мг/кг	кг/га		
0–20	18	46	51	1,27
20–40	11	32	58	1,45
40–60	8	24	61	1,52
60–80	6	18	61	1,53
80–100	—	—	62	1,55
0–80	—	120	293	—

миачной селитрой из расчета 1,6 г N на лизиметр (80 кг/га).

Исследования проводили при естественном увлажнении в двух объединенных единой схемой опыта лизиметрических блоках, в одном изучали доступность растениям аммонийного азота почвы, в другом — нитратного. Каждый из блоков состоял из 24 лизиметров, включал 6 вариантов в 4-кратной повторности.

Для изучения размера использования растениями минерального азота, содержащегося в разных горизонтах (слоях) почвы перед посевом кукурузы его метили небольшим количеством стабильного изотопа азота ^{10}N путем локального внесения на глубину 10, 30, 50 и 70 см (в середину каждого из слоев 0—20 см, 20-40, 40-60 и 60-80 см) раствора сульфата аммония $(^{15}NH_4)_2SO_4$ или натриевой селитры $Na^{15}NO_3$ с высоким обогащением ^{15}N (93-95 атом. %) *из* расчета 160 мг/лизиметр (8 кг/га) $^{15}N\text{-}NH_4^+$ или $^{15}N\text{-}NO_3^-$, что составляло 17 — 40% от содержания почвенного минерального азота в отдельном слое почвы или примерно 5-6% от содержания его во всем корнеобитаемом слое на период посева кукурузы. Наряду с локальным внесением в одном варианте каждого блока меченые сульфат аммония и натриевую селитру перемешивали с почвой в слое 0-20 см.

Минеральный азот почвы, содержащийся в разных горизонтах, метили следующим образом: с помощью металлического стержня диаметром 7 мм делали равномерно по всей площади лизиметра 16 отверстий и на дно каждого отверстия вносили с помощью цилиндрической пипетки или шприца с удлинительной пластиковой трубкой по 5 см^3 раствора меченных ^{15}N сульфата аммония или натриевой селитры необходимой концентрации, после чего отверстия засыпали почвой и уплотняли.

Посев кукурузы проводили в оптимальные для Московской обл. сроки.

В каждый лизиметр высевали по 6 семян. После всходов растения прореживали, оставляя до уборки в каждом сосуде по 4 растения. Удаленные при прореживании растения высушивали и использовали для последующего учета массы и изотопного состава азота в урожае. Уборку кукурузы проводили в конце августа — начале сентября в фазу молочной спелости зерна.

Для определения размера иммобилизации внесенного меченого азота после уборки растений ежегодно проводили отбор почвенных образцов из горизонтов 0—20, 20-40, 40-60 и 60-80 см. Содержание общего азота в почве и растениях определяли методом мокрого озоления по Кьельдалю. Минеральный азот почвы (аммонийный и нитратный) экстрагировали раствором 0,1 н. KC1 с последующим его определением в щелочной среде по Деварду. Анализ изотопного состава азота проводили на масс-спектрометре МИ-1201В в лаборатории азотных удобрений ВИУА.

Избыток содержания ^{15}N атом. % в азоте почвы или растений определяли по разности между обогащением ^{b}N образца и естественным природным содержанием ^{15}N (0,367 атом. *%).* Коэффициенты использования минерального азота кукурузой и размер закрепления его в почве рассчитывали исходя из общего содержания азота и избытка атомного процента ^{15}N в почве и растениях.

Результаты исследований

Применение меченых $^{13}N\text{-}NH_4^+$ и $^{15}N\text{-}NO_3^-$ в качестве искусственной метки аммонийного и нитратного азота почвы позволило установить пути его трансформации в отдельных горизонтах почвы и определить степень доступности растениям разных форм минерального азота в зависимости от глубины его расположения в корнеобитаемом слое.

Результаты исследований показали, что внесение в разные слои почвенного профиля небольшой дозы азота (из расчета 8 кг/га) меченных ^{15}N сульфата аммония и натриевой селитры по фону $N_{80}P_{120}K_{120}$ практически не оказало достоверного влияния на урожай кукурузы и течение естественных процессов трансформации природного азота почвы. В среднем за 3 года урожай сырой массы кукурузы в контроле ($P_{120}K_{120}$) составил 0,78 кг/лизиметр (390 ц/га). В вариантах с внесением по фону $P_{120}K_{120}$ 8 кг/га меченого азота в отдельный горизонт почвы до посева и 80 кг азота аммиачной селитры в подкормку в фазу 6-7 листьев (таблица не приводится) урожай сырой массы кукурузы увеличивался до 0,95-1,05 кг/лизиметр (470—530 ц/га). Урожай сухой массы кукурузы на удобренных азотом вариантах составлял 174-192 г/лизиметр. При этом достоверная прибавка урожая от внесения 8 кг/га меченого азота до посева кукурузы отмечена лишь в варианте с внесением сульфата аммония в слой почвы 20-40 см (табл. 3) по сравнению с внесением его в слой 60-80 см. Увеличение выноса общего азота растениями из подпахотного слоя (20-40 см) наблюдалось как при внесении меченого сульфата аммония, так и аммиачной селитры. Несмотря на недостоверность прибавок урожая и выноса азота кукурузой в других вариантах опыта, различающихся глубиной внесения $^{15}N\text{-}NH_4^+$ и $^{ir,}N\sim N_{03,}^-$ в них в течение 3 лет четко просматривается тенденция снижения урожая кукурузы и вы-

Таблица 3

Урожай и вынос азота кукурузой (в среднем за 3 года)

Внесение ^{15}N в слой почвы по фону $N_{80}P_{120}K_{120}$	Урожай сухой массы, г/лизиметр	Содержание общего азота в растениях, %	Вынос общего азота, г/лизиметр	Вынос ^{15}N растениями, мг/лизиметр
Контроль РК	137	1,14	1,56	
0–20 см с перемешиванием	186* / 179	1,26 / 1,28	2,34 / 2.29	63 / 67
0–20 см локально	187 / 178	1,29 / 1,31	2.41 / 2,33	66 / 71
20–40 см локально	192 / 182	1,30 / 1,33	2,49 / 2,43	85 / 78
40–60 см локально	176 / 179	1,28 / 1,29	2,25 / 2,31	45 / 32
60–80 см локально	174 / 176	1.27 / 1.25	2,21 / 2,20	19 / 13
$НСР_{05}$	17 / 15		0,19 / 0,21	

* В числителе — $(^{15}NH_4)_2SO_4$; в знаменателе — $Na^{15}NO_3$.

носа общего азота растениями при внесении меченного ^{15}N сульфата аммония и натриевой селитры в нижние слои почвенного профиля по сравнению с пахотным и ближайшим подпахотным слоем.

На основании выноса общего азота растениями и его изотопного состава определены размеры потребления кукурузой аммонийного и нитратного азота из разных слоев дерново-подзолистой почвы. Исследования показали, что использование растениями минерального азота, содержащегося в дерново-подзолистой среднесуглинистой почве перед посевом кукурузы, зависит от глубины его расположения в почвенном профиле.

Наибольшее потребление кукурузой аммонийного и нитратного азота почвы наблюдалось из пахотного и подпахотного горизонта 20-40 см, что обусловливается особенностями морфологического строения ее корневой системы.

Вынос минерального азота почвы растениями из других подпахотных горизонтов находился в обратной зависимости от глубины его расположения. В среднем за 3 года использование кукурузой аммонийного и нитратного азота почвы из пахотного (0~20 см) и подпахотного (20-40 см) горизонтов было примерно в 2 раза выше, чем из слоя почвы 40~60 см и соответственно в 7—8,5 и 4-5 раз выше, чем из слоя 60-80 см (см. табл. 3).

Коэффициенты использования кукурузой разных форм минерального азота из отдельных горизонтов почвы и его баланс были определены с учетом количества внесенного меченного ^{1S}N азота сульфата аммония и натриевой селитры (160 мг/лизиметр).

Установлено, что коэффициенты использования минерального азота находятся в обратной зависимости от глубины его расположения в корнеобитаемом слое почвы. Наиболее высокие коэффициенты использования растениями аммонийного и нитратного азота характерны для пахотного и ближайшего подпахот-

ного слоев, для более глубоких горизонтов они были значительно ниже.

В среднем за 3 года проведения исследований коэффициент использования растениями содержащегося перед посевом в пахотном слое почвы аммонийного и нитратного азота составил 39-44%, подпахотного (20-40 см) — 53% аммонийного азота и 49% нитратного, а из слоев почвы 40-60 и 60-80 см потребление минерального азота почвы кукурузой было значительно (в 2~6 раз) меньше (см. табл. 3).

Более высокие коэффициенты использования почвенного минерального азота растениями из слоя 0~40 см обусловлены, вероятно, тем, что основная масса корней кукурузы сосредоточена в этом слое почвы, а также слабой миграцией в весенний период минерального азота вверх по профилю.

Локальное внесение сульфата аммония и натриевой селитры в слой почвы 0—20 см не имело преимущества перед их внесением с перемешиванием со всем слоем почвы. Разница в коэффициентах использования азота при локальном его внесении и при перемешивании $^{15}N\text{-}NH_4^+$ и $^{15}N\text{-}NO_3^-$ со слоем почвы 0-20 см составляла 2-3% (табл. 4).

Коэффициенты использования аммонийного и нитратного азота из пахотного и подпахотного горизонта (20-40 см) почвы были примерно одинаковы. Из более глубоких горизонтов почвы растения лучше использовали аммонийный азот по сравнению с нитратным, что может быть связано с его сохранением в почве вследствие обменного поглощения и последующим использованием растениями по мере их роста и развития. Низкие коэффициенты использования нитратного азота, содержащегося в более глубоких слоях почвы, связаны, вероятно, с денитрификацией и вымыванием его за пределы корнеобитаемого слоя в весенний период.

В целом, коэффициенты использования содержащегося перед посевом в слое 0~40 см аммонийного и нитратного азота почвы были близкими и составляли 45%, а из корнеобитаемого слоя 0 — 80 см — соответственно 35 и 32%.

Следует отметить, что до настоящего времени почвенная диагнос-

Таблица 4

Баланс меченного ^{15}N аммонийного и нитратного азота почвы (в среднем за 3 года)

Внесение ^{15}N в слой почвы по фону $N_{80}P_{120}K_{120}$	Коэффициенты использования минерального азота почвы растениями, %	Закрепилось в почве, %	Дефицит азота, %
0–20 см с перемешиванием	39/42	38/32	23/26
0–20 см локально	41/44	40/29	19/27
20–40 см локально	53/49	32/19	15/32
40–60 см локально	28/20	21/15	51/65
60–80 см локально	12/8	15/10	74/82
0–80 см	35/32	29/21	36/47

* В числителе — $(^{15}NH_4)_2SO_4$; в знаменателе — $Na^{15}NO_3$.

тика минерального питания с.-х. культур проводится без дифференцированного учета доступности отдельных элементов питания из разных горизонтов почвы. Полученные нами экспериментальные данные позволяют сделать заключение, что сложившееся в агрохимической практике мнение об идентичности путей трансформации и доступности растениям минерального азота почвы и удобрений справедливо лишь в пределах одного и того же пахотного слоя. Превращение минерального азота в подпахотных горизонтах по сравнению с пахотным имеет свои особенности, которые следует учитывать при корректировке доз удобрений и разработке мероприятий по охране окружающей среды.

Наряду с использованием минерального азота из разных горизонтов почвы растениями, часть его (10-40%) закрепляется в органическом веществе почвы и значительная часть (15~82%) теряется в результате денитрификации и вымывания нитратов. Результаты исследований показали, что наибольшее закрепление минерального азота почвы происходило в слое 0—20 и 20-40 см. В среднем за 3 года в пахотном слое почве закрепилось 40%: аммонийного и 29% нитратного азота (см. табл. 4), а в подпахотном слое 20—40 см — соответственно 32 и 19%. В более глубоких слоях почвы в силу низкого содержания гумуса и микробиологической активности иммобилизация аммонийного и нитратного азота заметно ниже и составляла в слое 60—80 см соответственно 15 и 10% от содержания его перед посевом кукурузы. В сумме средневзвешенный размер закрепления в корнеобитаемом слое (0~80 см) почвы аммонийного азота составил 29%, нитратного — 21%.,

Применение стабильного изотопа ^{15}N позволило выявить существенное различие в потерях минерального азота из разных горизонтов почвы. Потери аммонийного азота из всех горизонтов почвы были значительно ниже, чем нитратного, и составляли для пахотного слоя соответственно 19 и 27%, подпахотного (20-40 см) — 15 и 32%, а из слоя 60-80 см они увеличивались до 74 и 82% от содержания $^{15}N\text{-}NH_4^+$ и $^{15}N\text{-}NO_3^-$ перед посевом. С учетом потерь минерального азота из каждого слоя почвы суммарные потери из пахотного и подпахотных горизонтов (0-80 см) аммонийного азота составляли 36% и нитратного 47%.

Выводы

1. Внесение на различную глубину почвенного профиля $(^{15}NH_4)_2S04H$ $Na^{1r,}NO_{;i}$ в качестве метки содержащегося в почве перед посевом аммонийного и нитратного азота позволяет определить пути трансформации его в отдельных горизонтах и размер текущей минерализации азота почвы в течение вегетации.

2. В лизиметрических опытах, проведенных с дерново-подзолистой почвой, коэффициенты использования кукурузой, содержащегося перед посевом аммонийного и нитратного азота в пахотном слое почвы, составили в среднем за 3 года 39—44%, подпахотного (20-40 см) — 53% аммонийного азота и 49% нитратного, а из слоев почвы 40—60 и 60—80 см потребление минерального азота почвы кукурузой было значительно (в 2~6 раз) ниже.

3. В зависимости от пространственного расположения аммонийного и нитратного азота в почвенном профиле закрепление его в органической форме и потери в результате денитрификации и вымывания нитратов составили соответственно 10-40% и 15-82%.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Акулов Г.П., Лукин С.В.* Потребление сахарной свеклой нитратного азота, мигрировавшего на разные глубины почвенного профиля // Почвоведение. 1996. № 11. — 2. *Белахуэл Джаллул.* Трансформация аммонийного и нитратного азота в разных горизонтах дерново-подзолистой почвы. Автореф. канд. дис. М., 1998. — **3.** *Гущина Е.О.* Использование кормовой свеклой аммонийного и нитратного азота из разных слоев дерново-подзолистой почвы. Автореф. канд. дис. 1999. — **4.** *Кидин В.В., Ионова О.Н.* Динамика потребления аммонийного нитратного растениями из разных горизонтов почвы // Агрохимия. 1992. № 11. — **5.** *Мальцев В.Т.* Формирование урожая яровой пшеницы и использование азота удобрений (^{13}N) в зависимости от глубины их размещения // Агрохимия. 1988. №8. — **6.** *Корчагина Ю.И., Шафран С.А.* Азотный режим почв Нечерноземья // Химизация сел. хоз- ва. 1988. — **7.** *Никитишен В.И.* Факторы, обусловливающие последействие азотных и фосфорных удобрений // Плодородие. 2004. № 2. — **8.** *Прянишников Д.Н.* Аммиак, нитраты и нитриты как источник азота для высших растений. Из результатов вегетационных опытов. Т. 13. М., 1926,

Статья поступила
20 апреля 2006 г.

SUMMARY

Transformation of ammonium and nitrate nitrogen in various levels of sodpodzol soil. Stable nitrogen isotope (^{b}N) usage in lyzimetric research into sol podzol middle loamy soil as an artificial mark to do a research into ways of transformation of ammonium and nitrate soil nitrogen, allowed to determine natural laws of various mineral nitrogen forms consumption by plants, the level of its immobilization and losses, depending on its spatial location in soil profile.