

УДК 631.811.1:621.039.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТЕНИЯМИ МЕЧЕНОГО АЗОТА УДОБРЕНИЙ И ПРЕВРАЩЕНИЕ ЕГО В ПОЧВЕ

В. В. КИДИН, П. М. СМИРНОВ, О. Н. ИОНОВА
(Кафедра агрономической и биологической химии)

Создание условий бездефицитного азотного питания сельскохозяйственных растений путем внесения минеральных удобрений во многом определяет получение высоких и устойчивых урожаев в Нечерноземной зоне. В то же время расширяющееся применение азотных удобрений ставит перед отечественным земледелием целый ряд проблем, связанных с загрязнением окружающей среды промежуточными продуктами трансформации азота удобрений в почве [3, 4].

Установлено, что значительная часть азота удобрений (20—30 %) теряется из почвы в газообразной форме, а также вследствие вымывания нитратов за пределы корнеобитаемого слоя [1, 5].

Основной причиной снижения эффективности азотных удобрений является эмиссия газообразных соединений азота из почвы в процессе нитрификации и денитрификации. Между тем в связи с увеличением количества применяемых азотных удобрений в последние годы резко возросли потери азота из почвы вследствие вымывания [7, 8]. Результаты лизиметрических опытов, проведенных в нашей стране [1, 2, 8] и за рубежом [6, 7], убедительно показывают, что вымывание нитратов, как и газообразные потери азота, зависит от целого ряда факторов, в частности от нормы и срока внесения удобрений, механического состава и водно-физических свойств почвы, биологических особенностей культур. Инфильтрация азота нитратов при внесении умеренных доз удобрений, как правило, не превышает 2—3 кг/га, в то время как применение азота удобрений в количестве, существенно превышающем биологическую потребность в нем сельскохозяйственных культур, а также длительное парование почв могут привести к вымыванию в зоне избыточного увлажнения с 1 га до 20—60 и более килограммов азота нитратов [1, 4, 6].

Необходимо отметить, что окислы азота и нитраты, образующиеся в процессе трансформации азота почвы и удобрений, вызывают значительные количественные и качественные изменения биогеохимических процессов окружающей среды. При этом большое негативное влияние на последнюю, в частности на водный и воздушный ее бассейны, оказывают образующиеся в почве закись азота и нитраты [3]. В этой связи особое значение для повышения эффективности азотных удобрений и снижения загрязнения окружающей среды наряду с выбором оптимальных сроков внесения удобрений приобретает длительная стабилизация азота в почве в аммонийной форме с помощью ингибиторов нитрификации.

В нашу задачу входило изучение влияния доз, сроков внесения азотных удобрений и ингибитора нитрификации N-serve на превращение и баланс меченого азота удобрений в системе почва — растение.

Методика

Лизиметрический опыт заложен в цилиндрических сосудах площадью 0,2 м² и высотой 100 см при сохранении генетических горизонтов дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. Глубина пахотного слоя 25 см, переходного — 15—16, иллювиального — 45—46 см (соответственно 65, 45 и 145 кг почвы).

Почва пахотного слоя перед закладкой опыта была произвесткована по полной гидролитической кислотности. Содержание общего азота, P₂O₅ и K₂O составляло соответственно 144, 12 и 26 мг на 100 г.

Опыт заложен по схеме, приведенной в табл. 1. Объектом исследования в 1976 г. был ячмень Московский 121, в 1977 г. — кукуруза гибрид Буковинский 3.

Азотные удобрения под ячмень вносили весной до посева и в фазу кущения, под кукурузу — до посева и в фазу 7—8 листьев. Норма меченого ¹⁵N азота ам-

миачной селитры 80 и 160 кг/га, азота сульфата аммония — 80 кг/га. В качестве фосфорно-калийных удобрений использовали двойной гранулированный суперфосфат и хлористый калий из расчета 120 кг P₂O₅ и K₂O на 1 га.

Ингибитор нитрификации 2-хлор-6(трихлорметил)-пиридин (N-serve) вносили совместно с сульфатом аммония в дозе 1 % от азота удобрений.

Содержание минерального и органического азота в лизиметрических водах осенью и весной определяли через каждые 5—7 дней, летом — по мере накопления фильтрата в водоприемнике.

Содержание азота в почвенных и растительных образцах устанавливали общепринятыми методами. Почвенные образцы отбирали из горизонтов 0—25, 25—40 и 40—85 см. Анализ изотопного состава проводили на масс-спектрометре МИ-1305.

Результаты исследований

Данные об урожае (табл. 1) свидетельствуют о сравнительно высокой эффективности азотных удобрений — прибавка зерна ячменя колебалась от 9,6 до 39,2 % в зависимости от нормы и форм азотных удобрений.

Т а б л и ц а 1

Урожай ячменя и кукурузы

Вариант	Ячмень		Кукуруза	
	масса зерна, г/лизиметр	прибавка, %	масса растений, г/лизиметр	прибавка, %
120P120K (фон)	106,5	—	166,5	—
80N _{aa}	117,2	10,0	289,4	73,8
160N _{aa}	147,5	38,5	346,5	108,1
80N _{aa} (в подкормку)	116,8	9,6	300,9	80,7
80N _{aa} +80N _{aa} (в подкормку)	148,1	39,2	364,8	119,1
80N _a	121,6	14,2	254,0	52,5
80N _a +ингибитор	126,8	19,1	264,4	58,8
HCP ₀₅	4,4		8,6	

П р и м е ч а н и е. N_{aa} — азот аммиачной селитры; N_a — сульфата аммония.

Внесение 80 кг азота аммиачной селитры на 1 га в экстремально влажном 1976 г. не обеспечивало потребности растений в азоте. В варианте с 160 N урожайность (148 г/лизиметр) и прибавки урожая (38,5—39,2 %) были наиболее высокими.

Перенесение части (или всего) азота удобрений (80N) в подкормку в фазу кущения ячменя не имело преимущества перед допосевным его внесением. Урожай ячменя не зависел от срока внесения удобрений.

В вариантах с сульфатом аммония прибавка урожая зерна была на 4,6—9,7 % выше, чем в соответствующих вариантах с аммиачной селитрой, что связано, по-видимому, с большой лабильностью нитратного азота в почве в последнем случае.

В опыте с кукурузой (1977 г.) при внесении азотных удобрений по фону 120P120K урожай воздушно-сухой массы растений возрос в

1,5—2,0 раза (табл. 1). Прибавка урожая зависела от срока и нормы внесения удобрений. Наиболее высокий урожай кукурузы получен при дробном внесении двойной дозы аммиачной селитры, наиболее низкий — в вариантах с 80N сульфата аммония (табл. 1).

Следует отметить, что из-за медленного роста кукурузы в начале ее развития внесенный до посева азот удобрений в течение месяца слабо используется растениями и при избыточном увлажнении почвы может теряться в результате инфильтрации нитратов за пределы корнеобитаемого слоя, а также в процессе денитрификации. Перенесение азота удобрений (80N) в подкормку в начале фазы интенсивного роста (7—8 листьев) кукурузы позволило повысить урожай на 6,9—11% по сравнению с допосевным его внесением.

При использовании ингибитора нитрификации эффективность азотных удобрений значительно повысилась. Прибавка урожая от совместного применения ингибитора нитрификации и сульфата аммония в опыте с ячменем составила 19,1%, в опыте с кукурузой — 58,8%, прибавка урожая непосредственно от ингибитора — соответственно 4,9 и 6,3% (табл. 1).

Внесенный в почву азот, как правило, приводит к усилению микробиологической активности почвы и способности культурных растений усваивать почвенный азот. В наших опытах азотные удобрения оказывали положительное влияние на мобилизацию ячменем и кукурузой естественных запасов азота почвы (табл. 2).

Использование почвенного азота растениями зависело от доз и срока внесения удобрений. В опыте с ячменем оно возрастало с 1,78 г в контроле (РК) до 1,99—2,5 г/лизиметр в варианте с NPK, а в опыте с кукурузой — с 1,62 до 1,88—2,16 г/лизиметр. Дополнительные мобилизация и использование растениями почвенного азота в условиях лизиметрического опыта находились в зависимости лишь от дозы удобрений (табл. 2). Их форма не оказывала существенного влияния на значение этих показателей.

Т а б л и ц а 2

Использование азота почвы и удобрений ячменем (числитель)
и кукурузой (знаменатель)

Вариант	Вынос азота, г/лизиметр			Азот удобрений в общем выносе, %	Коэффициент использования азота удобрений, % от внесенного	
	удобре- ний	почвы	всего		по разно- сти	изотопным методом
120P120K (фон)	—	1,78	1,78	—	—	—
		1,62	1,62			
80N _{aa}	0,74	2,03	2,77	26,7	61,8	46,2
	0,88	1,90	2,78	31,6	72,5	54,9
160N _{aa}	1,42	2,51	3,93	36,1	67,1	44,4
	1,64	2,16	3,80	43,2	69,2	51,3
80N _{aa} (в подкормку)	0,86	2,13	2,99	28,7	75,6	53,7
	0,85	1,89	2,74	30,9	70,3	53,0
80N _{aa} +80N _{aa} (в подкормку)	1,53	2,08	3,61	42,3	57,4	47,8
	1,69	1,88	3,57	47,2	61,1	52,7
80N _a	0,56	1,99	2,55	21,8	48,4	34,8
	0,77	1,88	2,65	29,0	64,4	48,0
80N _a +ингибитор	0,62	2,05	2,63	23,6	53,1	38,7
	0,80	1,90	2,70	29,6	67,4	49,6

Дополнительная мобилизация почвенного азота растениями при внесении азотных удобрений обусловила существенные различия в коэффициентах использования азота аммиачной селитры и сульфата аммония, определенных разностным (по разнице в выносе этого элемента растениями в контрольном и удобрённых вариантах) и изотопным методами. В последнем случае они были на 8,4—22,7 % ниже, чем в первом: в опыте с ячменем — соответственно 44,4—53,7 и в опыте с кукурузой — 48—54,9 и 61,1—73,5 %.

Азот минеральных удобрений и азот почвы принимают неодинаковое участие в формировании урожая. В опыте с ячменем доля азота удобрений в общем выносе его растениями варьировала от 21,8 до 42,3 %, причем в вариантах 160N она была выше, чем в варианте 80N. При повторном внесении аммиачной селитры и сульфата аммония под кукурузу в 1977 г. коэффициент использования азота удобрений и его доля в общем выносе растениями увеличились до 29—47,2 %.

Определение количества оставшегося в почве меченого азота удобрений после уборки урожая позволило установить влияние доз и сроков их внесения на иммобилизацию азота в почве. Известно, что в результате иммобилизации минерального азота в почве заметно снижаются его потери в процессах вымывания и биологической денитрификации, при этом повышаются накопление гумуса и почвенное плодородие. В естественных растительных ассоциациях иммобилизация и мобилизация азота в почве находятся в строго определенном динамическом равновесии, приводящем к длительной стабилизации физико-химических и биологических свойств почвы, в значительной степени определяющих ее плодородие.

Минеральные удобрения, являясь наиболее радикальным фактором воздействия на физико-химические и биологические процессы в почве, могут оказывать как положительное, так и негативное влияние на почвенное плодородие [3, 4].

При внесении азотных удобрений иммобилизация азота, как правило, значительно превышала дополнительную мобилизацию почвенного азота растениями (табл. 3). Наиболее высокие значения нетто иммобилизации азота удобрений в почве (403 и 564 мг/лизиเมตร) отмечены в вариантах с дробным внесением аммиачной селитры. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о преобладании процессов азотонакопления над процессами биологической деструкции органического вещества почвы.

Анализируя показатели баланса меченого азота удобрений (табл. 4), можно отметить, что азот аммиачной селитры использовался ячменем и кукурузой лучше, нежели азот сульфата аммония. Ко-

Т а б л и ц а 3

Влияние удобрений на иммобилизацию азота в почве (мг/лизиเมตร)

Вариант	Ячмень, 1976 г.			Кукуруза, 1977 г.		
	иммобилизовано ^{15}N удобрений	мобилизация ^{15}N почвы растениями	нетто иммобилизация	иммобилизовано ^{15}N удобрений	мобилизация ^{15}N почвы растениями	нетто иммобилизация
80N _{aa}	313	250	63	382	281	101
160N _{aa}	648	737	—89	583	541	42
80N _{aa} (в подкормку)	294	356	—62	461	277	182
80N _{aa} + 80N _{aa} (в подкормку)	711	308	403	831	267	564
80N _a	399	218	181	481	265	216
80N _a + ингибитор	437	270	167	499	280	219

Баланс азота удобрений (% к внесенному) под ячменем (числитель)
и кукурузой (знаменатель)

Вариант	Использовано растениями	Закрепилось в почве	Инфильтрация	Всего учтено	Газообразные потери
80N _{aa}	46,2	19,6	0,14	65,9	34,1
	54,9	23,9	0,10	78,9	21,1
160N _{aa}	44,4	20,2	0,16	64,8	35,2
	51,3	18,2	0,20	70,7	30,3
80N _{aa} (в подкормку)	53,7	18,4	—	72,1	27,9
	53,0	28,8	0,04	81,8	18,2
80N _{aa} +80N _{aa} (в подкормку)	47,8	22,2	0,06	70,0	30,0
	52,7	25,9	0,10	78,7	21,3
80N _a	34,8	25,0	0,07	59,8	40,2
	48,0	30,1	0,09	78,2	21,8
80N _a +ингибитор	38,7	27,3	0,03	66,0	34,0
	49,7	32,6	0,06	82,4	17,6

эффицент использования азота растениями в первом случае составил 44,4—54,9 %, во втором — 34,8—49,7 %.

Значительное количество вносимого азота (45—65 %) не использовалось растениями, часть его (18,2—32,6 %) закреплялась в почве в органической форме, много азота (17,6—40,2 %) терялось в газообразной форме. Азот сульфата аммония закреплялся в почве в большем количестве, чем азот аммиачной селитры. Основная часть азота удобрений закреплялась в пахотном слое, в то время как в слое 26—85 см его иммобилизация не превышала 3—5 % внесенного количества.

Применение ингибитора нитрификации способствовало увеличению коэффициента использования азота сульфата аммония растениями и закреплению его в почве, в результате газообразные потери азота существенно снижались.

Потери азота удобрений происходили в основном в виде газообразных азотистых соединений, а при вымывании не превышали 0,3 кг/га, или 0,2 % внесенного количества (табл. 4).

Потери азота почвы за счет вымывания были значительно выше, чем из удобрений, и обуславливались они прежде всего количеством осадков и температурой в весенний период (табл. 5 и 6). В особенно влажный 1976 г. с продолжительной и прохладной весной эти потери достигали 10,2—25,0 кг/га (табл. 5). В 1977 г., когда сумма осадков за весенний период не превышала среднюю многолетнюю, инфильтрация минерального азота колебалась от 1,8 до 5,4 кг/га.

Т а б л и ц а 5

Потери азота из почвы в результате вымывания

Вариант	Ячмень, 1976 г.		Кукуруза, 1977 г.	
	мг/лизиметр	кг/га	мг/лизиметр	кг/га
120P120K (фон)	272	13,6	44	2,2
80N _{aa}	294	14,7	54	2,7
160N _{aa}	500	25,0	108	5,4
80N _{aa} (в подкормку)	280	14,0	46	2,3
80N _{aa} +80N _{aa} (в подкормку)	256	14,8	66	3,3
80N _a	278	13,9	58	2,9
80N _a +ингибитор	204	10,2	36	1,8

Поступление азота в почву с атмосферными осадками и инфильтрация воды и минерального азота в 1976 г. (в числителе) и в 1977 г. (в знаменателе)

Месяц	Осадки, л/лизиметр	Поступление минерального азота с осадками, кг/га	Инфильтрация воды, л/лизиметр	Содержание азота в фильтрате, мг/л	
				N—NO ₃ ⁻	N—NO ₂ ⁻
I—III	22,4	0,88	—	—	—
	22,0	0,75	—	—	—
IV	12,1	0,45	4,5	14,0	1,5
	9,8	0,38	3,4	2,6	0,2
V	28,7	0,85	8,4	22,0	4,2
	15,0	0,63	3,2	8,0	0,4
VI	26,0	0,80	7,5	6,0	1,0
	18,4	0,65	3,0	5,0	—
VII	25,6	0,50	1,2	2,0	0,1
	15,4	0,54	—	—	—
VIII	11,5	0,55	—	—	—
	18,2	0,45	—	—	—
IX	5,0	0,52	0	0	0
	11,0	0,39	1,0	4,4	0,02
X	13,4	0,45	0	0	0
	7,1	0,20	0,5	3,0	0,2
XI—XII	25,8	0,53	—	—	—
	40,0	0,60	—	—	—
Сумма	170,5	5,53	22,1	—	—
	157,0	4,59	11,1	—	—

Анализ лизиметрических вод показал, что потери азота вследствие вымывания происходят главным образом за счет нитратов и нитритов. Доля последних, как правило, невелика и лишь в условиях чрезмерного переувлажнения почвы (1976 г.) может достигать больших размеров (табл. 6). Содержание аммонийного азота в лизиметрических водах не превышало 0,3—0,4 мг/л.

Минеральный азот вымывался из почвы в основном в ранневесенний период. Содержание нитратов в лизиметрических водах в это время составляло 14—22 мг/л. По мере роста и развития растений водопотребление и использование ими азота возрастало, в результате инфильтрация воды и минерального азота резко снижалась (табл. 6). В период интенсивного роста растений (в июле и августе) потери азота из почвы за счет вымывания практически отсутствовали, а осенью наблюдались вновь.

Поступление минерального азота с атмосферными осадками в среднем за год составило 4,5—5,5 кг/га, что значительно выше его потерь под кукурузой вследствие вымывания.

Выводы

1. В лизиметрическом опыте с дерново-подзолистой почвой использование азота аммиачной селитры и сульфата аммония ячменем и кукурузой варьировало от 35 до 55 %. Закрепление азота в почве колебалось от 18 до 33 % в зависимости от доз и сроков внесения удобрений.

2. Азот удобрений терялся в основном в виде газообразных азотистых соединений (18—40 %). Потери азота из почвы за счет вымыва-

ния нитратов и нитритов атмосферными осадками в опыте с ячменем варьировали от 10 до 25 кг/га, а в опыте с кукурузой — от 1,8 до 5,4 кг/га. Вымывание азота удобрений не превышало 0,3 кг/га.

3. В результате применения ингибитора нитрификации N-serve увеличивались использование азота сульфата аммония растениями и закрепление его в почве, а также заметно снижались потери азота в газообразной форме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусова Н. И. Лизиметрические исследования и их интерпретация — Тез. докл. V делегат. съезда Всесоюз. общ. почвоведов. Вып. 4. Минск, 1977. — 2. Бобрицкая М. А. Водная миграция азота и других элементов в профиле дерново-подзолистой почвы как расходная статья при балансовых расчетах. — В сб.: Роль азота в земледелии дерново-подзолистых почв. М: Колос, 1974, с. 146—186. — 3. Ковда В. А. Биосфера, тенденции ее изменения и проблема продовольствия. — Почвоведение, 1978, № 5, с. 5—14. — 4. Петербургский А. В. Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии. М: Наука, 1979. — 5. Смирнов П. М., Кидин В. В.,

Педишюс Р. К. Потери азота в результате денитрификации. — Изв. АН СССР, сер. биол., 1979, № 4, с. 552—563. — 6. Хвощева Б. Г. Некоторые проблемы, возникающие при применении высоких доз азотных удобрений (обзор). — Сельск. хоз-во за рубежом, 1977, № 12, с. 10—14. — 7. Шконде Э. И., Благовещенская З. К. Проблема потерь питательных веществ в интенсивном земледелии. Вымывание (обзор). — Сельск. хоз-во за рубежом, 1979, № 2, с. 2—7. — 8. Юрко Е. П. Потери азота из почв с нисходящими токами воды. — Агрохимия, 1980, № 4, с. 15—20.

Статья поступила 28 мая 1980 г.

SUMMARY

In lysimetric experiment with soddy-podzolic soil, transformation and balance of labelled by ^{15}N nitrogen in the soil—plant system under application of nitrogenous fertilizers and nitrification inhibitor N-serve at different time and rate were studied.

Utilization of nitrogen of ammonium nitrate and ammonium sulfate by barley and corn varied with thier rate from 35 to 50 %; nitrogen fixation in the soil in organic form made 18—33 %. Losses of nitrate nitrogen due to leaching made 10—25 kg/ha in the experiment with barley and 1,8—5,4 kg/ha in the experiment with corn. Leaching of labelled fertilizer nitrogen did not exceed 0,3 kg/ha.

Gaseous losses of nitrogen varied with the time of applying fertilizers from 18 to 40 %. Application of nitrification inhibitor contributed to higher utilization of ammonium sulfate nitrogen by plants and to its fixation in the soil.