

УДК 631.811.1:631.416.1

ПРЕВРАЩЕНИЕ МЕЧЕНОГО АЗОТА УДОБРЕНИЙ В ПОЧВЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ И СРОКОВ ИХ ВНЕСЕНИЯ

П. М. СМЕРНОВ, В. В. КИДИН, О. Н. ИОНОВА

(Кафедра агрономической и биологической химии)

К настоящему времени накоплен обширный экспериментальный материал о превращении азотных удобрений в почвах различных почвенно-климатических зон страны. Применение ^{15}N позволило установить, что внесенный в почву азот удобрений используется лишь на 40—50 %, часть его (25—35 %) закрепляется в почве в слабодоступной для растений органической форме и значительная часть (20—30 %) теряется из почвы в виде газообразных азотистых соединений, а также вследствие вымывания нитратов и нитритов за пределы корнеобитаемого слоя [2, 3, 5].

Потери азота в газообразной форме являются основной причиной снижения коэффициентов использования и эффективности азотных удобрений. Однако в связи с резким увеличением количества применяемых в Нечерноземной зоне азотных удобрений существенно возросли также и потери азота из почвы в результате вымывания [1, 6].

По данным многолетних полевых и лизиметрических опытов, позволяющих наиболее полно учесть размеры потерь и пути трансформации азота в системе почва—растение, вымывание нитратного азота из почвы может значительно варьировать (от 2—5 до 120—160 кг/га) в зависимости от ее механического состава, доз и сроков внесения удобрений, биологических особенностей возделываемых культур, режима увлажнения [4, 7]. В полевых условиях при внесении оптимальной дозы удобрений потери азота, как правило, не превышают 2—3 кг/га [1, 2], но при дозах, значительно превышающих биологическую потребность сельскохозяйственных культур в азоте, вымывается (особенно на легких почвах при большом количестве осадков) до 60 % вносимого азота [6, 7].

Потери азота вследствие вымывания не только снижают эффективность удобрений, но и отрицательно сказываются на санитарно-гигиеническом состоянии рек и водоемов, вызывая накопление в них большого количества (до 20—60 мг/л) нитратов, которые, как известно, уже при содержании 20 мг/л токсичны для человека и животных [4, 6].

В этой связи несомненный научный и практический интерес представляет изучение возможности повышения эффективности азотных удобрений и снижения потерь азота из почвы. В нашу задачу входило исследование баланса азота аммиачной селитры и сульфата аммония при разных дозах и сроках их внесения, а также влияния ингибитора нитрификации на потери азота почвы и удобрений.

Методика опыта

Лизиметрический опыт заложен в цилиндрических сосудах 0,2 м², вмещающих 255 кг почвы, при сохранении генетических горизонтов. Глубина пахотного слоя 25 см, переходного — 15, иллювиального — 45 см (соответственно 65, 45 и 145 кг почвы).

В опыте использовалась дерново-подзолистая среднесуглинистая почва, рН_{сол} —

5,5, Н_г — 2,18 мэкв на 100 г, содержание общего азота по Кьельдалю, подвижных Р₂О₅ по Кирсанову и К₂О по Масловой — соответственно 144, 12,4 и 26,0 мг на 100 г. Перед закладкой опыта пахотный слой был произвесткован по полной гидролитической кислотности.

Меченные ^{15}N азотные удобрения под кукурузу вносили весной до посева и в

фазу 7—8 листьев, под озимую рожь — рано весной и в начале трубоквания (аммиачную селитру — в дозах 80 и 160 кг, сульфат аммония — в дозе 80 кг азота на 1 га). Двойной гранулированный суперфосфат и хлористый калий применяли из расчета 120 кг фосфора и калия на 1 га. В качестве ингибитора нитрификации использовали 2-хлор-6(трихлорметил)-пиридин — промышленное название N-serve. Его вносили совместно с сульфатом аммония в дозе 1 % от азота удобрений.

Содержание минерального (NH_4^+ NO_3^- ,

NO_2^-) и органического азота в лизиметрических водах учитывали через каждые 5—7 дней.

После уборки урожая в почве (в слоях 0—25, 25—40 и 40—85 см) и растениях определяли содержание общего азота по методу Кьельдаля — Йодльбауэра, аммиачный азот — по Кьельдалю, нитратный и нитритный азот восстанавливали по Деварду с последующим отгоном аммиака по Кьельдалю. Анализ изотопного состава азота проводили на масс-спектрометре МИ-1305.

Результаты опыта

Прибавка урожая зеленой массы кукурузы варьировала в зависимости от доз азотных удобрений в пределах 34,3—71,7 % (табл. 1). Наиболее высокой (71,7 %) по сравнению с контролем (РК) она была при внесении двойной дозы (160N) аммиачной селитры. Прибавка уро-

Т а б л и ц а 1

Урожайность кукурузы и озимой ржи в лизиметрическом опыте

Вариант	Кукуруза, 1976		Оз. рожь, 1977	
	масса растений, г/лизиметр	прибавка урожая, %	масса зерна, г/лизиметр	прибавка урожая, %
120P120K (фон)	109,7	—	91,0	—
80 N _{aa}	161,5	47,2	129,2	42,0
160 N _{aa}	188,4	71,7	147,7	62,3
80 N _{aa} + 80 N _{aa}	184,6	68,2	153,2	68,2
80 N _a	147,4	34,3	127,0	39,6
80 N _a + ингибитор	180,9	64,9	136,2	49,7
НСР _{0,05}	12,4		15,9	

жая кукурузы в варианте с сульфатом аммония оказалась на 12,9 % ниже, чем в соответствующем варианте (80N) с аммиачной селитрой.

Наиболее высокий урожай зерна озимой ржи (153,2 г на лизиметр) получен при внесении 80 кг азота аммиачной селитры на 1 га в фазу кущения и 80 кг в начале трубоквания, самый низкий (127 г на лизиметр) — в варианте с сульфатом аммония.

Прибавка урожая озимой ржи по сравнению с контролем в зависимости от доз и форм азота удобрений варьировала от 39,6 до 68,9 %.

При использовании ингибитора нитрификации эффективность азотных удобрений значительно повышалась. Прибавка урожая от совместного внесения ингибитора и сульфата аммония (табл. 1) в опыте с кукурузой составила 30,6 %, а в опыте с озимой рожью — 10,1 %.

Азот удобрений способствовал усилению микробиологической активности почвы, в результате чего резко возрастала подвижность почвенного азота и его доступность (особенно в вариантах 160N) растениям (табл. 2). Так, в 1976 г. использование почвенного азота кукурузой в вариантах с 80N увеличилось до 1,99 и 2,08 г в вариантах с 160N — до 2,26 и 2,48 г против 1,91 г на лизиметр в контроле. Применение высоких доз азота (160N) под озимую рожь, так же как и в опыте с кукурузой, приводило к дополнительной мобилизации почвенного азота растениями, вследствие чего усвоение его увеличилось с 1,49 до 1,74—1,82 г на лизиметр.

Дополнительная мобилизация и усвоение растениями азота почвы при внесении азотных удобрений обусловили различия в значениях коэффициентов использования азота удобрений, определенных изотоп-

Вынос азота кукурузой в опыте 1976 г. (числитель)
и озимой рожью в опыте 1977 г. (знаменатель)

Вариант	Вынос азота, г/лизиเมตร	Азот удобрений в общем выно- се, %	Коэффициент использования азота удобрений, % от внесенного	
			по разности	изотопным методом
РК-фон	1,91	—	—	—
	1,49	—	—	—
80 N _{aa}	2,83	29,5	57,7	52,2
	2,33	40,2	52,6	58,7
160 N _{aa}	4,20	41,1	71,8	54,0
	3,82	52,5	72,8	62,7
80 N _{aa} + 80 N _{aa}	4,00	41,0	65,5	51,3
	3,63	52,1	66,9	59,2
80 N _a	2,87	27,7	60,3	49,7
	2,39	35,3	54,7	52,2
80 N _a + ингибитор	3,19	29,2	80,0	57,9
	2,47	37,2	61,1	57,4

ным и разностным (по разнице в выносе этого элемента растениями в удобренных и неудобренных вариантах) методами (табл. 2). В последнем случае они были, как правило, выше, чем в первом: в опыте с кукурузой — соответственно 58—80 и 52—58 %, а в опыте с озимой рожью — 53—73 и 52—59 %.

При повторном внесении аммиачной селитры (в 1977 г.) увеличился не только коэффициент использования азота удобрения, но и его доля в общем выносе этого элемента. Коэффициент использования азота сульфата аммония в оба года оставался на одном и том же уровне, однако доля азота удобрения в общем выносе его озимой рожью (1977 г.) была выше, чем в общем выносе кукурузой. В целом, несмотря на высокие коэффициенты использования азота удобрений кукурузой и озимой рожью, доля его в общем выносе была относительно небольшой — 30—52 % (табл. 2), а значительная часть закреплялась в почве в органической форме. Имобилизация азота удобрений в почве приводит, как известно, к снижению доступности азота и коэффициентов его использования растениями, а также к уменьшению непродуцируемых потерь этого элемента в газообразной форме. В связи с отмеченным при оценке роли имобилизации азота удобрений в почвенном плодородии необходимо прежде всего учитывать содержание в почве гумуса и тесно коррелирующего с ним общего азота. При низком содержании органического вещества в почве следует повышать имобилизацию азота удобрений в почве путем заправки соломы или других растительных остатков совместно с удобрениями, обеспечивая тем самым более интенсивное гумусообразование и увеличение ее плодородия. В то же время на хорошо окультуренных почвах с высоким содержанием органического вещества имобилизация азота удобрений не играет столь существенной роли и не может служить определяющим фактором в повышении актуального и потенциального плодородия почв.

Из данных табл. 3 следует, что при внесении азотных удобрений имобилизация азота, как правило, превышает дополнительную мобилизацию почвенного азота растениями. В силу этого, несмотря на усиление минерализации азотсодержащих органических веществ в почве

Влияние удобрений на иммобилизацию азота (мг на лизиметр) в почве

Вариант	Кукуруза, 1976			Оз. рожь, 1977		
	иммобилизовано ^{15}N удобрений в почве	мобилизация N почвы растениями	нетто иммобилизация	иммобилизовано ^{15}N удобрений в почве	мобилизация N почвы растениями	нетто иммобилизация
80 N	294	88	206	286	—98	384
160 N	570	570	0	537	324	213
80 N + 80 N	1110	454	656	665	247	418
80 N	334	170	164	477	40	437
80 N + ингибитор	419	356	63	536	59	477

при внесении удобрений, процессы азотонакопления и гумусообразования в почве преобладают.

В зависимости от доз и срока внесения удобрений значение нетто иммобилизации (разница между количеством закрепившегося в почве азота удобрений и количеством дополнительно мобилизованного азота почвы растениями при внесении удобрений) варьировало в широких пределах. В опыте с кукурузой этот показатель был наибольшим при дробном внесении двойной дозы (80N+80N) удобрений (656 мг/лизиметр), а в опыте с озимой рожью — при внесении сульфата аммония совместно с ингибитором нитрификации (477 мг).

Анализируя показатели баланса меченого азота удобрений (табл. 4), можно проследить тесную взаимосвязь между закреплением азота в почве и его газообразными потерями в опыте с кукурузой.

При увеличении иммобилизации азота удобрений в почве с 18 до 35 % потери азота аммиачной селитры снижались с 28—29 до 14 %.

В опыте с озимой рожью закрепление азота удобрений в почве практически не менялось и составляло в вариантах с азотнокислым аммонием 16,8—20,8, с сульфатом аммония — 29,8—33,5 %.

Основная часть азота удобрений закреплялась в пахотном слое, в то время как в слое 40—85 см его иммобилизация не превышала 1—4 % внесенного количества.

Содержание минерального азота удобрений в пахотном слое почвы было незначительным (около 1 %) и не зависело от доз и сроков внесения удобрений.

Т а б л и ц а 4

Баланс азота удобрений (% к внесенному) под кукурузой (в числителе) и озимой рожью (в знаменателе)

Показатель	80N _{aa}	160N _{aa}	80N _{aa} + +80N _{aa}	80N _a	80N _a + инги- битор
Использовано растениями	52,2	54,0	51,3	49,7	57,9
	58,7	62,7	59,2	52,2	57,4
Закрепилось в почве 0—85 см	18,4	17,8	34,7	20,9	26,2
	17,9	16,8	20,8	29,8	33,5
Вынос азота с лизиметрическими водами	1	2	1	5,1	1,1
	1	1	1	1	1
Итого учтено азота	70,8	72,3	86,3	75,7	85,2
	77,0	79,6	80,3	82,3	91,1
Потери	29,2	27,7	13,7	24,2	14,8
	23,0	20,4	19,7	17,7	8,9

Применение ингибитора нитрификации способствовало увеличению использования азота удобрениями растениями и закреплению его в почве, в результате значительно снижались потери в газообразной форме.

Применение ^{15}N позволило установить, что потери азота вследствие вымывания происходят главным образом за счет нитратов и обусловлены прежде всего количеством осадков, выпадающих за вегетационный период, и биологическими особенностями возделываемых культур. В особенно влажный 1976 г. эти потери составили 20—23 кг/га, в условиях нормального увлажнения 1977 г. они были в 2—4 раза ниже — 5,1—10,4 кг/га (табл. 5), причем в оба года вымывался преимущественно (на 94—96 %) азот почвы. Потери азота удобрений при инфильтрации были незначительны, не больше 1 кг/га (табл. 4).

Исходя из данных о динамике содержания минерального азота (NO_3^- и NO_2^-) в лизиметрических водах можно сделать вывод о тесной зависимости потерь почвенного азота от состояния растительного покрова (табл. 6).

При отсутствии растений, а также в начале их развития образующийся в почве нитратный азот беспрепятственно вымывается за пределы корнеобитаемого слоя. Содержание азота нитратов в этот период в лизиметрических водах было наиболее высоким и составляло 14—22 мг/л. По мере роста и развития растений водопотребление и использование ими азота значительно увеличивались, в итоге резко снижались инфильтрация атмосферных осадков и концентрация минерального азота в лизиметрических водах.

В лизиметрических водах наряду с нитратным азотом содержался азот нитритов (табл. 6), причем доля последнего повышалась с понижением температуры окружающей среды и увеличением количества осадков, затрудняющими аэрацию почвы. Так, содержание нитритов в мае 1976 г. в среднем было равно 4,3 мг/л (или 16,6 % суммы минерального азота), хотя иногда оно доходило до 7—12 мг/л.

Таблица 5

Потери азота в результате вымывания

Вариант	Кукуруза, 1976		Оз. рожь, 1977	
	мг/лизиметр	кг/га	мг/лизиметр	кг/га
РК — фон	404	20,3	102	5,1
80 N_{aa}	427	21,3	126	6,3
160 N_{aa}	448	22,4	208	10,4
80 N_{aa} + 80 N_{aa}	466	23,3	178	8,9
80 N_{a}	460	23,0	124	6,2
80 N_{a} + ингибитор	426	21,3	80	4,0

Таблица 6

Инфильтрация атмосферных осадков и содержание азота в лизиметрических водах (в числителе — 1976 г., в знаменателе — 1977 г.)

Месяц	Осадки, мм	Инфильтрация воды, г/лизиметр	Содержание азота, мг/л	
			NO_3 N	NO_2 N
I—III	112	—	—	—
	110			
IV	61	4,5	14,0	1,5
	49			
V	143	8,6	21,6	4,3
	75			
VI	130	8,5	11,3	1,9
	92			
VII	128	4,8	6,0	0,2
	77			
VIII	57	1,3	3,6	0,1
	91			
IX	25	—	—	—
	55			
X	67	0,5	13,1	0,3
	36			
XI—XII	129	—	—	—
	200			
Сумма	852	28,2	—	—
	785			

Потери азота удобрений происходили в основном в виде газообразных азотных соединений. Газообразные потери азота аммиачной селитры под кукурузой и озимой рожью варьировали от 20,4 до 29,2 % и практически не зависели от доз удобрений. В то же время при дробном внесении аммиачной селитры (80N до посева и 80N в фазу 7—8 листьев) под кукурузу потери азота снижались на 14 %, а его закрепление увеличивалось на 16,9 %. В опыте с озимой рожью дробное внесение азота удобрений не имело преимуществ перед ранневесенним его внесением.

Выводы

1. Использование азота удобрений кукурузой варьировало в зависимости от доз и сроков его внесения в пределах 51—58 %, а озимой рожью — от 52 до 59 %, закрепление в почве азота удобрений в органической форме составило соответственно 18—20 и 17—33 %.

2. Азот удобрений теряется из почвы в основном в виде газообразных азотистых соединений. В опыте с кукурузой газообразные потери азота удобрений колебались от 14 до 29 %, с озимой рожью — от 9 до 23 %.

3. Основная часть потерь азота в форме нитратов при вымывании атмосферными осадками как в опыте с кукурузой (20—23 кг/га), так и с озимой рожью (5—10 кг/га) приходилась на почвенный азот, а доля азота удобрений не превышала 1 кг/га.

4. В результате применения ингибитора нитрификации N-serve увеличивались использование азота удобрений растениями и закрепление его в почве, а также значительно снижались потери азота в газообразной форме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блюм Б. Г., Выволокина А. Г. Влияние ингибиторов нитрификации на эффективность азотных удобрений и потери его от вымывания. — *Агрохимия*, 1978, № 4, с. 33—36. — 2. Бобринская 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. Кореньков Д. А. *Агрохимия азотных удобрений*. М.: Наука, 1976. — 4. Петербургский А. В. Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии. М.: Наука, 1979. — 5. Смирнов П. М. Вопросы агрохимии азота. М., ТСХА, 1977. — 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.

Статья поступила 26 февраля 1980 г.

SUMMARY

In lysimetric trial with corn and winter rye the coefficients of utilization of ammonium nitrate and ammonium sulfate nitrogen varied with the rates and time of their application from 51 to 59 %. Fixation of fertilizer nitrogen in the soil made 18—33 %.

Losses of nitrogen from the soil by leaching of nitrates and nitrites with lysimetric waters reached under corn 20—23 kg and under winter rye — 5—10 kg/ha, the portion of fertilizer nitrogen being not higher than 1 kg per 1 ha.

Losses of fertilizer nitrogen were mainly in the form of gas due to denitrification. The application of nitrification inhibitor resulted in higher utilization of nitrogen fertilizer by plants and its fixation in the soil.