

УДК 631.811.11

ВЛИЯНИЕ ОКУЛЬТУРЕННОСТИ ПОЧВЫ НА ТРАНСФОРМАЦИЮ АЗОТА УДОБРЕНИЙ

В. В. КИДИН, П. М. СМИРНОВ, Л. А. ИВАННИКОВА
(Кафедра агрономической и биологической химии)

Эффективность азотных удобрений зависит не только от норм и сроков их внесения, но и от окультуренности и предшествующей удобренности почв [1—3, 5, 6].

Несмотря на многочисленные исследования превращения меченных ^{15}N азотных удобрений, вопрос о влиянии окультуренности почв и их предшествующей удобренности на трансформацию азота удобрений до настоящего времени еще не решен. В этой связи представляло интерес изучить с помощью метода меченых атомов баланс азота удобрений в почве, отличавшейся различным уровнем предшествующей удобренности.

Методика опытов

Исследования проводили в вегетационном домике кафедры агрономической и биологической химии Тимирязевской академии. В опыте использовали дерново-подзолистую почву многолетнего опыта, заложенного в 1962 г. в учхозе «Дубки» Рузского района Московской области, где в течение 13 лет беспрерывно возделывали кукурузу, под которую ежегодно вносили $200\text{N}100\text{P}240\text{K}$ и органические удобрения в дозе 40 и 80 т/га. Почва, взятая с отдельных вариантов многолетнего опыта (контроль — без удобрений; NPK ; $\text{NPK} + 40$ т навоза; 80 т навоза на 1 га и целина), в значительной степени различалась по содержанию гумуса, азота и других подвижных элементов питания, различной

также была их актуальная и потенциальная кислотность (табл. 1).

Опыты с ячменем были заложены в 8-кратной повторности в стеклянных сосудах, вмещающих по 3 кг абсолютно сухой почвы. Азотные и фосфорно-калийные удобрения вносили из расчета 100 мг N , P_2O_5 и K_2O на 1 кг почвы в виде $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в опыте 1 (1975 г.) и $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ в опыте 2 (1976 г.) при избытке ^{15}N в удобрениях — соответственно 13,6 и 15,3 ат. % и смеси одно- и двухзамещенного фосфата калия.

Динамику баланса азота удобрений изучали путем снятия с каждого варианта опыта через 15 и 30 дней по два сосуда в период вегетации растений и по 4 сосуда во время уборки ячменя.

Т а б л и ц а 1

Агрохимическая характеристика почв

Вариант многолетнего опыта	Гумус	Азот общий	$\text{pH}_{\text{соч}}$	H_Γ	S	V, %	P_2O_5	K_2O
	%			ммоль			мг/100 г	
1 — контроль (без удобрений)	1,61	0,105	5,7	0,5	11,0	95,6	5,7	15,5
2 — NPK	1,63	0,115	4,7	1,8	8,7	82,9	10,5	32,0
3 — $\text{NPK} +$ навоз, 40 т/га	2,25	0,145	4,8	2,2	10,0	82,0	25,2	64,0
4 — навоз, 80 т/га	3,17	0,190	5,7	0,7	15,7	95,7	16,0	50,5
5 — целина	2,69	0,140	4,3	4,5	6,2	57,7	9,0	6,9

Результаты опытов

Установлена довольно четкая зависимость между урожайностью растений и степенью окультуренности исходных почв. Урожайность ячменя в обоих опытах, как правило, увеличивалась по мере повышения окультуренности почв как в вариантах РК, так и при внесении азотных удобрений. В вариантах с наиболее плодородными почвами (NPK+навоз и навоз в дозе 80 т/га) воздушно-сухая масса растений была примерно на 15—30% выше, чем на слабоокультуренной почве контрольного варианта (без удобрений) многолетнего опыта (табл. 2).

При внесении азотных удобрений урожайность растений возрастала в 3—4 раза по сравнению с вариантом РК. В той же мере азотные удобрения и окультуренность почв влияли на общий вынос азота урожаем. В вариантах с азотными удобрениями (табл. 3) он был в 3—4,5 раза больше, чем в контроле. По мере повышения окультуренности почв общий вынос азота растениями увеличивался. Так, если на неудобренных почвах (контрольный вариант многолетнего опыта) значение этого показателя равнялось 233,8—323,9 мг/сосуд, то на систематически унавоживаемых почвах (варианты NPK+навоз и навоз в дозе 80 т/га — 324,8—303,4 мг/сосуд).

Общий вынос азота растениями, а также дополнительная мобилизация и усвоение его ячменем зависели от формы азота удобрений.

При внесении $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ растения использовали азот удобрений в большем количестве (145,8—157,4 мг/сосуд), чем при внесении $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (106,3—115,2 мг/сосуд). Однако неодинаковое использование азота удобрений можно

объяснить не только формой последних, но и различиями метеорологических условий (более высокая температура воздуха в 1975 г. по сравнению с 1976 г.). Так, в контрольных вариантах опыта 1 растения использовали из почвы в 1,4—1,7 раза больше азота, чем в соответствующих вариантах опыта 2. Очевидно, более высокая температура воздуха в 1975 г. способствовала активизации микробиологической деятельности и усиленной минерализации органического азота почвы, в результате чего растения больше усваивали азота из почвы и меньше из удобрений, чем в 1976 г.

Использование меченого ^{15}N азота удобрений по вариантам изменялось незначительно, можно отметить лишь тенденцию к его увеличению в вариантах с более плодородными почвами (106,3; 111,4 и 115,2 мг/сосуд в 1975 г. и 145,8; 147,5; 157,4 и 158,9 мг/сосуд в 1976 г.), в то время как использование азота почвы в значительной мере обус-

Таблица 2

Урожайность ячменя и вынос азота растениями (варианты вегетационного опыта: в числителе — РК, в знаменателе — ^{15}NPK)

Вариант много- летнего опыта	Зерно	Соло- ма + корни	Всего	
	г/сосуд		мг/сосуд	% к контро- лю (РК)
Опыт 1 с $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$				
Контроль (без удобрений)	1,3	6,5	7,8	—
	7,0	16,4	23,4	300
NPK	1,5	7,3	8,8	—
	9,2	20,4	29,6	336
NPK+навоз, 40 т/га	1,8	9,1	10,6	—
	10,3	24,1	34,4	315
Целина	2,2	6,7	8,9	—
	6,9	17,5	24,4	272
HCP ₀₅	0,4			
Опыт 2 с $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$				
Контроль (без удобрений)	2,6	4,0	6,6	—
	11,5	16,6	28,1	425
NPK	3,0	4,2	7,2	—
	12,6	18,9	31,5	438
NPK+навоз, 40 т/га	3,3	4,5	7,8	—
	14,6	18,5	33,1	425
Навоз, 80 т/га	4,4	5,2	9,6	—
	15,8	21,9	37,7	393
HCP ₀₅	0,4			

Использование ячменем азота почвы и удобрений
(варианты вегетационного опыта: в числителе — РК, в знаменателе — ¹⁵НРК)

Вариант многолетнего опыта	Общий вынос азота растениями		Вынос азота удобрений, мг/сосуд	Вынос азота почвы		Коэффициент использования, %	
	мг/сосуд	% к контролю		мг/сосуд	дополнительно к контролю, %	по разнице	изотопным методом
Опыт 1							
Без удобрений	74,7	—	—	74,7	—	—	—
	233,8	312	106,3	127,5	70,8	60,0	40,1
НРК	77,5	—	—	77,5	—	—	—
	254,5	387	111,4	143,1	84,7	66,8	42,0
НРК + навоз, 40 т/га	107,4	—	—	107,4	—	—	—
	324,8	303	115,2	209,6	95,0	82,0	43,5
Целина	100,8	—	—	100,8	—	—	—
	277,3	277	94,9	182,4	80,9	66,6	35,8
Опыт 2							
Без удобрений	52,1	—	—	52,1	—	—	—
	223,9	430	145,8	78,1	49,9	60,6	48,6
НРК	57,0	—	—	57,0	—	—	—
	248,0	435	147,5	100,5	76,2	63,7	49,2
НРК + навоз,	61,6	—	—	61,6	—	—	—
	277,5	450	157,4	120,1	95,0	72,0	52,4
Навоз, 80 т/га	79,2	—	—	79,2	—	—	—
	303,4	383	158,9	144,1	82,0	74,7	53,0

довливалось уровнем предшествующей удобренности как в вариантах РК, так и при внесении азотных удобрений.

В вариантах РК использование растениями азота систематически удобрявшихся почв, особенно унавоживаемых, увеличивалось на 12,8—32,7 мг на сосуд в 1975 г. и на 4,9—17,1 мг в 1976 г., а в вариантах НРК — соответственно на 59,8—89,9 и 22,0—86,0 мг.

Из данных табл. 3 и 4 следует, что при внесении азотных удобрений азота из почвы использовалось в 1,5—2 раза больше, чем в соответствующих вариантах РК, причем в опыте 1 дополнительно мобилизовалось почти в 2 раза больше азота (52,8—110,0 мг/сосуд), чем в тех же вариантах опыта 2 (26,0—58,0 мг/сосуд).

Количество дополнительно мобилизованного азота возрастало с увеличением плодородия почв. В опыте 1 дополнительное усвоение азота в варианте с неудобрявшейся почвой (контроль многолетнего опыта) при внесении сульфата аммония составляло 70,6 %, а при систематическом внесении удобрений (НРК и НРК + навоз многолетнего опыта) — соответственно 114 и 103 %. В опыте 2 из неудобрявшейся почвы при внесении азотных удобрений растения использовали на 49,9 % азота больше, чем в варианте РК, а в вариантах полевого опыта НРК и НРК + навоз — на 76,2 и 95,0 % больше, т. е. разница в дополнительном использовании почвенного азота составляла 43 и 45 %.

В связи со значительными колебаниями уровня дополнительно мобилизованного азота коэффициенты использования азота удобрений в вегетационном опыте, определенные по разнице с контролем (табл. 3), также варьировали в довольно широких пределах (от 60 до 82 %), в то время как аналогичные коэффициенты, определенные изотопным ме-

Динамика усвоения азота почвы и удобрений ячменем в вегетационных опытах
(в числителе — мг/сосуд, в знаменателе — % от общего выноса)

Вариант многолетнего опыта	Вынос азота растениями								
	через 15 сут			через 30 сут			через 90 сут		
	всего	из удобрений	из почвы	всего	из удобрений	из почвы	всего	из удобрений	из почвы
Опыт 1 с $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$									
Контроль (без удобрений)	60,4	35,2	25,2	181,1	105,6	75,5	233,8	106,3	127,5
	100	58,2	41,8	100	58,2	41,8	100	45,5	54,5
НРК	59,0	36,4	22,6	199,5	107,7	91,8	254,5	111,4	143,1
	100	61,7	38,3	100	54,1	45,9	100	43,7	56,3
НРК+навоз, 40 т/га	58,7	35,2	23,5	214,1	112,2	101,9	324,8	115,2	209,6
	100	60,0	40,0	100	52,4	47,6	100	35,4	64,6
Целина	41,5	21,1	20,4	166,9	84,1	82,8	277,3	94,9	182,4
	100	50,9	49,1	100	50,4	49,6	100	34,2	65,8
Опыт 2 с $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$									
Контроль (без удобрений)	70,5	42,4	28,1	194,7	133,2	61,4	223,9	145,8	78,1
	100	60,0	40,0	100	68,2	31,8	100	65,2	34,8
НРК	70,5	39,5	31,0	202,5	134,6	67,9	248,0	147,5	100,5
	100	56,0	44,0	100	66,8	33,2	100	59,6	40,4
НРК+навоз, 40 т/га	72,2	39,9	32,3	210,2	141,3	68,9	277,5	157,4	120,1
	100	55,3	44,7	100	67,0	33,0	100	56,6	43,4
Навоз, 80 т/га	75,1	42,3	32,8	231,6	142,4	89,2	303,4	158,9	144,5
	100	56,2	43,8	100	61,5	38,5	100	52,4	47,6

тодом, практически не зависели от плодородия почвы и предшествующей ее удобренности.

При внесении сульфата аммония (опыт 1) азот удобрений в общем выносе его растениями составлял 34,2—45,5 %, а при внесении аммиачной селитры (в опыте 2) — 52,4—65,2 %.

С повышением уровня предшествующей удобренности почв доля азота удобрений в общем выносе его растениями снижалась, а доля азота почвы увеличивалась. Так, в почве, не удобрявшейся в течение длительного времени, почвенный азот составлял в опыте 1 54,5 %, в опыте 2 — 34,8 % общего выноса, а в почве, систематически получавшей органические и минеральные удобрения (НРК+навоз), — соответственно 64,6 и 43,4 %, т. е. на более окультуренных почвах использование азота почвы увеличивалось примерно на 10 % (табл. 4).

При многолетнем применении одних минеральных удобрений доля почвенного азота в общем выносе этого элемента растениями также была несколько выше, чем на не удобрявшейся почве (контроль), а при ежегодном в течение 13 лет внесении 80 т навоза на 1 га — на 12,5 % больше, чем в варианте с не удобрявшейся почвой.

В течение вегетации азот в растения поступал неравномерно (табл. 4). В первые две недели растения использовали небольшое количество азота удобрений и почвы. Затем использование азота резко возросло и уже в 15—30-дневных растениях содержалось около половины максимального его потребления. Всего за первый месяц они усвоили 70—80 % азота общего выноса.

Наиболее интенсивно в первые 30 дней использовался азот удобрений, за указанное время в растения поступило около 90 % всего количества этого элемента, использованного из удобрений, а азота почвы — только 40—60 % усвоенного за весь период вегетации.

Баланс меченного ^{15}N азота удобрений в почвах вегетационных опытов
(% от внесенного)

Варианты многолетнего опыта	Использовано растениями			Осталось в почве (в числителе — в минеральной форме, в знаменателе — в органической)			Потери		
	срок определения, дни								
	15	30	90	15	30	90	15	30	90
Опыт 1 с $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$									
Контроль (без удобрений)	13,3	39,9	40,1	$\frac{32,0}{18,7}$	$\frac{0,5}{23,3}$	$\frac{0,9}{22,5}$	36,0	36,4	36,4
NPK	13,7	40,6	42,0	$\frac{35,9}{18,3}$	$\frac{0,9}{17,9}$	$\frac{1,3}{15,9}$	12,1	40,6	40,8
NPK+навоз, 40 т/га	13,3	42,3	43,5	$\frac{36,2}{21,2}$	$\frac{1,6}{24,6}$	$\frac{1,1}{23,8}$	29,3	31,5	31,6
Целина	8,0	31,7	35,8	$\frac{42,6}{20,4}$	$\frac{5,2}{23,2}$	$\frac{1,3}{23,0}$	29,1	39,3	39,2
Опыт 2 с $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$									
Контроль (без удобрений)	14,1	44,4	48,6	$\frac{51,9}{10,5}$	$\frac{4,8}{17,7}$	$\frac{0,6}{17,7}$	23,5	33,1	33,1
NPK	13,2	44,9	49,2	$\frac{55,4}{6,6}$	$\frac{5,2}{13,2}$	$\frac{0,5}{13,0}$	23,8	36,7	37,3
NPK+навоз, 40 т/га	13,3	47,1	52,4	$\frac{54,2}{11,7}$	$\frac{4,6}{20,2}$	$\frac{0,4}{19,0}$	20,8	28,1	28,2
Навоз, 80 т/га	14,1	47,5	53,0	$\frac{53,9}{10,7}$	$\frac{4,9}{22,6}$	$\frac{0,5}{21,1}$	21,3	25,0	25,4

Во второй период вегетации (30—90 дней) поступление азота удобрений резко снизилось или совсем прекратилось, а усвоение азота почвы продолжалось до конца вегетации.

В опыте 1 (табл. 4), где в качестве азотного удобрения применялся $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, во второй период вегетации поступило 40—60 % всего использованного из почвы азота и во время уборки общее его количество в растениях было на 10—30 % больше, чем азота удобрений.

В опыте 2 (табл. 4), где вносили $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$, растения к концу вегетации использовали больше азота из удобрений, чем из почвы, однако и здесь во второй период вегетации более интенсивно поглощался азот почвы, причем интенсивность поступления последнего была выше на почвах, удобрявшихся навозом, а также на целинной почве.

Уровень предшествующей удобренности почв незначительно влиял на использование ячменем азота удобрений, хотя и отмечалась тенденция увеличения коэффициента использования удобрений растениями на более окультуренных почвах (табл. 5).

Динамика использования азота удобрений растениями, возделываемыми на различных почвах, также была практически одинаковой и лишь на целине период усвоения азота удобрений был несколько растянутым, что связано, по-видимому, с повышенной кислотностью почвы, которая отрицательно влияла на развитие ячменя, особенно в начале его роста и развития. В первые 15 дней растения использовали незначительное количество азота удобрений (13,3—14,1 %), большая его часть находилась в минеральной форме (32,0—42,6 % в опыте 1 и 51,9—53,9 % в опыте 2). В последующем (от 15 до 30 дней) количе-

ство минерального азота в почве резко снизилось и в растения поступила основная часть азота удобрений.

Уровень предшествующей удобренности почвы оказывал влияние на процессы иммобилизации в ней азота. Закрепление азота удобрений в органической форме в почве, длительное время удобрявшейся только минеральными удобрениями (вариант НРК многолетнего опыта), в опыте 1 и 2 было ниже (15,9—13,0 % от внесенного), чем в других почвах, что, вероятно, связано с повышенной кислотностью почвы данного варианта (табл. 1) и, следовательно, с уменьшением их биологической активности. В остальных почвах количество иммобилизованного азота мало различалось (22,5—23,8 % в опыте 1 и 17,7—21,1 % в опыте 2), несколько бóльшим оно было в почвах, удобрявшихся навозом.

Аммиачная форма азота лучше использовалась микроорганизмами, особенно в первые две недели (18,3—21,2 % от внесенного), чем аммиачно-нитратная (6,6—11,7 %). В конце вегетации иммобилизация аммиачного азота была лишь на 2,9—4,8 % выше, чем аммиачно-нитратного. Максимальное закрепление азота удобрений наблюдалось к 30-му дню опыта. К концу вегетации количество его в результате частичной минерализации несколько снижалось.

Потери азота удобрений составляли значительную часть в азотном балансе, они колебались в зависимости от формы удобрений и предшествующей удобренности почв в пределах 25,4—40,8 %. Наибольшее количество этого азота терялось из почв, длительное время получавших минеральные удобрения (40,8 и 37,3 % от внесенного). При внесении в почву в течение многих лет минеральных и органических удобрений потери были на 9,2—9,1 % ниже и составляли 31,6—28,2 %.

Меньше всего терялось азота удобрений из почвы в варианте с навозом в дозе 80 т/га (25,4 % внесенного), что связано с большей его иммобилизацией и с несколько лучшим использованием растениями.

Заключение

Исследования, проведенные в условиях вегетационных опытов на дерново-подзолистых почвах с различным уровнем предшествующей удобренности (в течение 13 лет), показали, что окультуренность этих почв незначительно влияет на коэффициенты использования ячменем меченного ^{15}N азота удобрений. Прибавка урожая на окультуренных почвах зависела от дополнительной мобилизации растениями азота почвы.

В окультуренных почвах, где создаются наиболее благоприятные условия для микробиологической деятельности, закрепление азота удобрений в органической форме увеличивалось, а его непроизводительные потери, наоборот, снижались.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. Вып. 1 и 2. М., 1960, 1964. — 2. Доспехов Б. А. Научные основы интенсивного земледелия в Нечерноземной зоне. М.: Колос, 1976. — 3. Кидин В. В., Иванникова Л. А. Влияние окультуренности и предшествующей удобренности почв на урожай ячменя и вынос им азота. — Изв. ТСХА, 1979, вып. 5, с. 190—194. — 4. Кореньков Д. А. Агрохимия азотных удобрений. М.: Наука, 1976. — 5. Кулаковская Т. Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев. Минск: Ураджай, 1978, с. 272. — 6. Лыков А. М. Основные итоги исследований по проблеме органического вещества дерново-подзолистой почвы. — Изв. ТСХА, 1976, вып. 2, с. 8—20. — 7. Смирнов П. М. Вопросы агрохимии азота. М.: ТСХА, 1977.

рохимия азотных удобрений. М.: Наука, 1976. — 5. Кулаковская Т. Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев. Минск: Ураджай, 1978, с. 272. — 6. Лыков А. М. Основные итоги исследований по проблеме органического вещества дерново-подзолистой почвы. — Изв. ТСХА, 1976, вып. 2, с. 8—20. — 7. Смирнов П. М. Вопросы агрохимии азота. М.: ТСХА, 1977.

Статья поступила 16 апреля 1981 г.

SUMMARY

In pot experiments with soddy-podzolic soils were erer characterized by different fertilizer background (for 13 years), coefficients of utilization of labelled by ^{15}N ammonium saltpeter and ammonium sulfate nitrogen varied from 36 to 53 % and were somewhat higher on more intensively cultivated soils.

The higher is the level of soil cultivation, the more fertilizer nitrogen is fixed in organic form, and the lower are its gaseous losses.