

УДК 631.416.1

Д. А. ФИЛИМОНОВ, Е. В. РУДЕЛЕВ

## ПРЕВРАЩЕНИЕ ИММОБИЛИЗОВАННОГО АЗОТА В ПОЧВЕ ПРИ ВНЕСЕНИИ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

Азот удобрений, закрепленный органическим веществом почвы оказывает незначительное последствие, причем степень минерализации его зависит от возделываемой культуры. При возделывании многолетних трав наблюдается стабильное использование закрепленного азота, чередование же посева с парованием при возделывании однолетних культур способствует максимальной минерализации закрепленного азота в первый год последствия. Отмечено также, что увеличение дозы немеченых азотных удобрений способствует некоторому увеличению минерализации иммобилизованного азота удобрений.

Для оценки значения азотных удобрений в севообороте недостаточно ограничиваться сведениями только об их непосредственной эффективности, так как часть вносимых в почву азотных удобрений закрепляется органическим веществом и составляет значительную расходную статью азотного баланса в системе почва — растение.

Применение стабильного изотопа  $^{15}\text{N}$  позволило выявить, что в зависимости от применяемой формы азотных удобрений в почве остается от 10 до 40% внесенного азота. Этот азот нельзя считать безвозвратно потерянным для использования растениями, так как исследование трансформации азота в почве, проведенные в последнее время, показали, что все внесенные формы азотных удобрений проявляют некоторое последствие. Незначительное последствие азота связано с тем, что в результате биологических превращений, постоянно происходящих в почве, азот удобрений входит в состав различных фракций почвенного органического вещества [2] и уже на второй год после внесения большая его доля (до 90%) оказывается в органической форме [5]. Кроме того, установлено, что по составу фракций вновь закрепленный азот удобрений отличается от природного азота большим содержанием сравнительно легкогидролизующихся фракций и меньшим содержанием негидролизующего азота [3]. По подсчетам Смирнова с соавт. [6], степень минерализации вновь закрепленного азота в 5—6 раз выше азота почвы.

Степень минерализации иммобилизованного азота удобрений зависит от механического состава почвы. Так, результаты лизиметрических опытов, проведенных на дерново-подзолистой суглинистой и супесчаной почвах, показали, что интенсивность минерализации закрепленного азота за 3 года последствия составила на тяжелой почве 1,38 г в лизиметре, а на легкой почве — 0,56 г [1].

Рядом авторов отмечено, что последствие закрепленного азота удобрений уменьшается со временем. Так, в опытах Турчина в первый год последствия размеры усвоения растениями иммобилизованного азота удобрений достигали 11%, а к третьему году они не превышали 4% [8]. По мнению автора, это связано с процессом «старения» органического азота удобрений, т. е. с переходом его в более трудногидролизующиеся соединения и уменьшением степени минерализации и доступности его растениям. В микрополевых опытах Смирнова с соавт., про-

веденных на дерново-подзолистой почве [7], содержание закрепленного азота удобрений в конце первого года последействия составило 90,2—94,0% от закрепившегося в год внесения, а в конце второго года содержание его увеличилось до 97,9—98,3%, что указывает на переход закрепленного азота в негидролизуемые соединения. В опыте Коренькова с соавт. [3], проведенном в полевых лизиметрах на дерново-подзолистой супесчаной почве за 6 лет изучения последействия водного аммиака и сульфата аммония, степень использования закрепленного азота уменьшилась соответственно с 3,3 до 1,3% и с 3,6 до 1,2% от внесенного количества азотного удобрения.

Было отмечено, что повторное внесение азотных удобрений при изучении последействия иммобилизованного азота увеличивает минерализацию и усвоение его. Так, в микрополевых опытах Смирнова и Сукова [7] степень минерализации закрепленного азота удобрений без повторного внесения удобрений составила 1,7—2,1%, а с повторным внесением — 2,8—4,0%. По подсчетам авторов, при систематическом внесении азотных удобрений иммобилизованный азот ранее внесенных удобрений будет полностью использован растениями примерно через 25—30 лет.

Наши исследования по изучению последействия меченых сульфата аммония, натриевой селитры и мочевины, внесенных в 1972 г. в дозе 180 кг/га или 4,5 г N на лизиметр, проводились в полевых лизиметрах в течение 2 лет на фоне внесения немеченой аммиачной селитры. Опыты проводили с тремя культурами (лен, ячмень и луговые травы — овсяница луговая). Аммиачную селитру в дозе 180 кг/га под лен и ячмень вносили в полной дозе перед посевом, а под луговые травы — дробно, по 90 кг/га под каждый укос. Кроме того, в некоторых лизиметрах, освобожденных от трав после сведения баланса меченого азота в 1973 г., также изучалось последействие оставшегося в почве азота на вновь высеванных травах при одногодичном внесении аммиачной селитры из расчета 90 кг/га.

Внесение аммиачной селитры под все культуры опыта значительно увеличило урожай и общий вынос азота урожаем, причем последний складывался из внесенного азота с удобрениями, почвенного азота и части закрепленного ранее азота меченых азотных удобрений (табл. 1).

Таблица 1  
Последствие азотных удобрений (надземная масса + корни)

Культура	Вариант		Урожай, г в лизи- метре	Общий вынос азота, мг/лиз	Использовано иммобилизо- ванного N		
	1972 г.	1974 г.			мг/лиз	% от внесенной дозы	% от общего выноса
2-летнее внесение немеченых удобрений							
Лен	PK	PK	134,6	1090		Не опр.	
	<sup>15</sup> Nc	<sup>14</sup> Nc	184,6	2308	43	0,9	1,8
Ячмень	<sup>15</sup> Na	<sup>14</sup> Na	179,3	2276	38	0,8	1,6
	PK	PK	135,0	1135		Не опр.	
Травы	<sup>15</sup> Nc	<sup>14</sup> Nc	210,0	3938	47	1,7	1,9
	<sup>15</sup> Na	<sup>14</sup> Na	217,0	3210	135	3,0	4,2
	<sup>15</sup> Nc	<sup>14</sup> Nc	263,0	5273	84	1,8	1,5
	<sup>15</sup> Na	<sup>14</sup> Na	232,0	4516	78	1,7	1,7
	<sup>15</sup> Nm	<sup>14</sup> Nm	279,0	5377	112	2,4	2,1
Одногодичное внесение немеченой NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>							
Травы (один укос)	<sup>15</sup> Nc*	<sup>14</sup> Nc	100,0	2000	59	1,3	2,9
	<sup>15</sup> Na	<sup>14</sup> Nc	135,0	2497	57	1,3	2,9
	<sup>15</sup> Nm	<sup>14</sup> Nc	113,0	2991	61	1,4	3,0

\* Вариант опыта 1973 г.

Изотопный анализ проб растений показал, что после 2-летнего внесения немеченых форм удобрений использование иммобилизованного азота удобрений разными культурами опыта составило незначительную величину. Так, в опыте со льном она находилась в пределах 0,8—0,9%, в опыте с ячменем —1,7—3,0% и с травами —1,7—2,4% от внесенного в 1972 г. азота меченых удобрений. Использование закрепленного азота вновь высеянными травами после одногодичного внесения аммиачной селитры не превышало 1,4% азота, внесенного в 1973 г.

Таблица 2  
Использование закрепленного азота удобрений, 1973 г.

Вариант	Лен		Ячмень		Травы	
	1	2	1	2	1	2
Nc	241,3	5,3	343,0	7,6	104,3	2,3
Na	370,0	8,2	280,6	6,2	80,3	1,8
Nm	Не опр.				125,0	2,8

Примечание. 1 — вынос с урожаем  $^{15}\text{N}$ , мг; 2 — использовано  $^{15}\text{N}$ , % от внесенного в 1972 г.

Таблица 3  
Распределение азота удобрений по фракциям органического вещества почвы при прямом действии и в последствии\* (опыт с травами, мг/лнз)

Вариант	Гуминовые кислоты				Фульвокислоты					Негидролизуемый остаток
	фракции									
	1	2	3	сумма	1a	1	2	3	сумма	
Na	127,0	—	90,0	218,0	68,4	155,6	37,5	178,8	460,3	147,3
	111,2	—	45,3	156,5	44,0	170,6	—	155,4	270,0	127,8
Nm	186,6	—	77,1	263,7	60,8	290,5	—	190,6	541,9	340,0
	148,6	—	49,3	197,9	49,7	226,6	—	138,0	413,0	258,0

\* Числитель — 1972 г., знаменатель — 1974 г.

Однако при сравнении этих данных с результатами, полученными ранее [4], наблюдается резкое уменьшение использования закрепленного азота льном и ячменем на второй год последствия (табл. 2).

Так, в опыте со льном использование азота с 5,3—8,2% в первый год уменьшалось до 0,8—0,9 (табл. 1), в опыте с ячменем — с 6,2—7,6% до 1,3—3,0% от внесенной дозы меченого азота. Что касается трав, то здесь за 2 года изучения последствия наблюдается стабильное использование закрепленного азота в пределах 1,7—2,8%, что связано, по-видимому, со специфическими условиями минерализации закрепленного азота удобрений при многолетнем возделывании трав. Чередувание же посева с парованием при возделывании однолетних культур, видимо, способствует максимальной минерализации закрепленного азота в первый год последствия.

Использование растениями закрепившегося азота происходит в основном за счет наиболее подвижной части почвенного гумуса — фульвокислот. Данные повторного фракционного анализа образцов почвы, взятых из опыта с травами после 2-летнего внесения аммиачной селитры, указывают на заметное уменьшение азота  $^{15}\text{N}$  в различных группах и фракциях органического вещества (табл. 3). Так, наибольшее количество азота  $^{15}\text{N}$  минерализовалось в группе фульвокислот, которое составило по вариантам опыта 23,8—41,1% количества  $^{15}\text{N}$ , закрепив-

шегося в 1972 г.; доля минерализованного азота удобрений в группе гуминовых кислот была меньше и не превышала 28,2%. Наименьшая величина минерализации приходится на группу негидролизуемых соединений — 7,3—22%. Таким образом, полученные данные подтверждают вывод, сделанный ранее [4], о большей по сравнению с гуминовыми кислотами и гуминами мобильности азота удобрений, закрепленного в группе фульвокислот, большей его способности к минерализации и использованию растениями. После окончания опыта по изучению последствие закрепленного азота был сведен баланс, результаты которого представлены в табл. 4.

Таблица 4

Баланс иммобилизованного азота удобрений \*

Культура	Вариант	Содержание $^{15}\text{N}$ в почве 1972 г.	После 2-летнего внесения $^{15}\text{N}$		
			использовано растениями	осталось в почве	потери
Лен	Nc	850	284,3	552,0	14,2
		100	33,4	64,9	1,7
	Na	1368	408,0	868,8	92,0
		100	29,8	63,4	6,8
Ячмень	Nc	832,5	420,0	398,1	21,9
		100	50,4	47,8	1,8
	Na	1201,5	415,6	775,0	10,9
		100	34,5	64,5	1,0
Травы	Nc	823,5	188,3	582,0	57,2
		100	22,3	70,6	6,6
	Na	1219,5	158,3	999,0	61,8
		100	12,9	81,9	5,2
Nm	1071,0	237,0	801,0	33,0	
	100	22,1	74,7	5,2	

\* Числитель — мг/аиц, знаменатель — % от закрепленного  $^{15}\text{N}$  в опыте 1972 г.

2-летнее внесение немеченых азотных удобрений способствовало минерализации закрепленного азота  $^{15}\text{N}$ . Использование его растениями в зависимости от культуры и варианта опыта составило 12,9—50,4% от первоначального количества закрепленного азота. Нужно отметить, что наименьший коэффициент использования был получен в опыте с травами — 12,9—22,8%, так как хорошо развитая корневая система трав, а также большое количество органических остатков в почве после отмирания надземной массы, видимо, обладают значительной способностью удерживать азот в поглощенном состоянии. Последнее хорошо согласуется с данными содержания поглощенного азота  $^{15}\text{N}$  в образцах почвы, взятых из опыта с травами, которое составляет 70,6—81,9% от содержания азота  $^{15}\text{N}$  в опыте 1972 г. Использование иммобилизованного азота  $^{15}\text{N}$  льном и ячменем в зависимости от варианта опыта составило за 2 года 29,8—50,4%, причем, как было отмечено ранее, наибольший коэффициент использования обеими культурами наблюдался в первый год опыта по последствию и резко уменьшился на второй год. Большая минерализация азота в опытах со льном и ячменем обусловила меньшее по сравнению с данными, полученными в опыте с травами, содержание его в почве и не превышало 64,9% от азота  $^{15}\text{N}$ . Рассчитанные по разности потери иммобилизованного азота  $^{15}\text{N}$  под всеми культурами были незначительны и не превышали 6,6%.

С целью изучения влияния различных доз аммиачной селитры на минерализацию закрепленного азота удобрений был проведен вегетационный опыт, в котором использовалась дерново-подзолистая суглинистая почва, взятая из лизиметров с определенным содержанием меченого сульфата аммония. Опыт был заложен по схеме РК, РК+ $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (50 мгN/кг), РК+ $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (150 мгN/кг) и РК+ $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (150 мгN/кг дробно, по 75 мг/кг под каждый укос), в 5-килограммовых сосудах. Исходная почва содержала 13,5 мг меченого N сульфата аммония на 1 кг почвы, что составило для каждого сосуда 67,5 мг. В опытах использовали райграс однолетний, повторность опыта 4-кратная. Фосфор и калий вносили в сосуды в виде солей из расчета 100 мг действующего начала на 1 кг почвы. Полученные данные представлены в табл. 5.

Таблица 5

Влияние дозы аммиачной селитры на минерализацию закрепленного почвой азота удобрений

Вариант	Урожай, г/сосуд		Использовано $^{15}\text{N}$		Общий вынос азота урожаем (надземная масса + корни)
	надземная масса = 1+2+3 укосы	корни	мг	% от исходного количества	
РК	7,5	6,1	15,4	22,8	122,3
РК + $\text{NH}_4\text{NH}_2$ 50 мг/кг	21,9	17,8	20,5	30,3	271,1
РК + $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 150 мг/кг	35,3	23,0	23,1	34,2	670,8
РК + $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 150 (по 75 мг/кг)	36,0	35,9	22,9	33,9	518,7

Внесение аммиачной селитры значительно увеличило урожай и общий вынос азота растениями пропорционально дозе внесенного азотного удобрения. Как видно из данных табл. 5, дробное внесение несколько снижает общий вынос по сравнению с разовым внесением аммиачной селитры. Вместе с увеличением дозы аммиачной селитры увеличивается минерализация и вынос закрепленного азота, дробное внесение азотного удобрения не имело преимуществ в количестве минерализованного азота по сравнению с разовым внесением.

Таким образом, полученные данные позволяют говорить о тенденции к увеличению минерализации закрепленного в органическом веществе почвы азота при увеличении дозы вносимых азотных удобрений.

#### Литература

1. Варюшкина Н. М., Кирпанева Л. И., Никитина М. М. Роль азота удобрений в балансе азота почвы. *Агрохимия*, 1974, № 7.
2. Кореньков Д. А., Лаврова И. А., Филимонов Д. А., Руделев Е. В. Превращение азотных удобрений в почве. *Агрохимия*, 1976, № 8.
3. Кореньков Д. А., Романюк Л. И., Варюшкина Н. М., Кирпанева Л. И. Баланс азота удобрений при изучении действия и последствий азотных удобрений в полевых лизиметрах. *Бюл. ВИУА*, 1975, вып. 25.
4. Кореньков Д. А., Лаврова И. А., Филимонов Д. А., Руделев Е. В. Превращение азотных удобрений в почве. *Агрохимия*, 1976, № 9.
5. Смирнов П. М., Суков А. А. Доступность растениям и превращение в почве иммобилизованного азота удобрений в последствии. *Агрохимия*, 1970, № 12.
6. Смирнов П. М., Шилова Е. И., Хон Н. И. Иммобилизация азота удобрений в полевых опытах на различных почвах. *Изв. ТСХА*, 1972, вып. 2.
7. Смирнов П. М., Суков А. А. Использование растениями азота удобрений и его превращение в дерново-подзолистой и черноземной почвах. *Докл. ТСХА*, 1970, вып. 160.
8. Турчин Ф. В. Азотное питание растений и применение азотных удобрений. «Колос», 1972.