

УДК 631.859:631.879.32:631.811.1:631.416.1

## ПРЕВРАЩЕНИЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ ПРИ ВНЕСЕНИИ МАРТЕНОВСКОГО ШЛАКА

Л. А. МЕРЗЛЯКОВ, Н. В. РЕШЕТНИКОВА, Ф. А. ЮДИН  
(Кафедра агрономической и биологической химии)

Основными факторами, которые обуславливают снижение урожайности сельскохозяйственных культур при систематическом применении азотных удобрений на дерново-подзолистых почвах, являются обеднение последних кальцием, магнием, повышение их кислотности, а также увеличение активности ионов алюминия и марганца [7, 8, 13]. Поэтому в условиях Нечерноземной зоны эффективность азотных удобрений определяется прежде всего проведением высококачественного известкования до их внесения [2, 5, 12].

Опыты с культурами, чувствительными к кислотности, показали, что известкование значительно увеличивает использование растениями азота не только почвы, но и удобрений [3, 4, 11].

Азотные удобрения при внесении в почву подвергаются физическим, химическим, биологическим превращениям, в результате часть азота теряется, а часть закрепляется в органическом веществе почвы. Применение метода меченых атомов позволило установить, что известкование не оказывает заметного влияния на иммобилизацию азота удобрения в почве [9, 10], но его потери при этом существенно снижаются [1, 4, 6].

Расширение использования для известкования кислых почв мартеновского шлака в связи с дефицитом известковых материалов вызывает необходимость более тщательного изучения его влияния на превращение азота удобрения в дерново-подзолистой почве, ибо для нее характерна не только кислая реакция среды, но и низкое содержание азота. Этому вопросу и посвящено настоящее сообщение.

### Методика

Исследования проводили в вегетационном домике Агрохимической опытной станции им. Д. Н. Прянишникова в стеклянных сосудах емкостью 2,5 кг сухой почвы. Исходная дерново-подзолистая среднесуглинистая почва характеризовалась следующими агрохимическими показателями: содержание общего азота — 0,088 %, фосфора и калия по Кирсанову — соответственно 1,0 и 7,5 мг на 100 г,  $pH_{KCl}$  — 4,1, гидролитическая кислотность — 6,1 мг-экв на 100 г.

Вегетационный опыт 1 проводился с ячменем. Азот в дозе 300 мг на сосуд вносили в виде меченого  $^{15}N$  сульфата аммония (обогащение 14,10 ат. %), фосфор и калий — по 400 мг на сосуд в виде суперфосфата и хлористого калия. Повторность при закладке опыта 8-кратная, а при уборке ячменя — 4-кратная, так как в период кушения (через 16 дней) и колошения (через 58 дней) из опыта исключали по 2 повторности для анализов.

Вегетационный опыт 2 был заложен в 6-кратной повторности с райграсом многоукосным. Азот вносили в виде аммиачной селитры, меченой  $^{15}N$ , ежегодно в дозе 230 и 460 мг на сосуд (обогащение 16,34 и 16,42 ат. %), дозы фосфора и калия были те же, что в опыте 1.

Почву в опытах известковали известью и ижевским мартеновским шлаком следующего состава (%): CaO — 40, MgO — 8,2, MnO — 4,7, SiO<sub>2</sub> — 14,3, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 6,8, FeO — 14,0, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 6,2, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 1,0. Шлак вносили эквивалентно дозам извести по нейтрализующей способности.

В высушенных растительных образцах (надземная часть и корни), а также в почвенных образцах определяли общее содержание азота по Кьельдалю — Иодльбауэру, в последних, кроме того, N—NO<sub>3</sub> и N—NH<sub>4</sub> в 0,25 н. KCl вытяжке. Содержание  $^{15}N$  в азоте почвы и растений определяли на масс-спектрометре МИ-1305.

## Результаты исследований

Рост и развитие ячменя, а также формирование его урожая в значительной степени зависели от азотного питания. Если в контроле зерно вообще не сформировалось, а в варианте РК урожай зерна составил лишь 0,4 г на сосуд, то при внесении азота по фону РК масса зерна повысилась в 13,5 раза (табл. 1). При этом как на фоне РК, так и NPK вегетативная масса ячменя была больше в вариантах с известью. По действию на рост и развитие ячменя до фазы колошения шлак и известь не различались. В дальнейшем шлак способствовал более интенсивному формированию соломы на фоне РК и зерна в варианте NPK, в результате прибавка урожая зерна в последнем случае была на 1,6 г, или на 37,2 %, выше, чем при внесении извести.

Анализ данных о динамике потребления растениями азота показывает, что на известкованной почве растения во все периоды развития значительно лучше использовали азот почвы и удобрения. В итоге после уборки ячменя в вариантах со шлаком и известью вынос азота из удобрения был выше соответственно на 50,2; 33,0 мг, а из почвы — на 26,3 и 21,8 мг на сосуд, чем по фону NPK без известкования. Мелиоранты не оказывали существенного влияния на структуру общего выноса азота (фаза полной спелости), в которой 61,5—62,8 % составлял азот удобрения, а 37,2—38,5 % — азот почвы (табл. 1).

В вегетационном опыте 2 (табл. 2) наибольшая прибавка райграса многоукосного от шлака и извести в первый год после их внесения получена в вариантах без удобрения (2,9 и 2,7 г на сосуд), а в последствии — на фоне повышенного уровня азотного питания (2,8 и 2,2).

Т а б л и ц а 1

**Формирование урожая ячменя (в числителе — зерно, в знаменателе — солома) и вынос азота. Вегетационный опыт 1**

Вариант опыта	16-й день (фаза кущения)			58-й день (фаза колошения)			82-й день (фаза полной спелости)		
	сухая масса, г/сосуд	использовано N, мг/сосуд		сухая масса, г/сосуд	использовано N, мг/сосуд		урожай, г/сосуд	использовано N, мг/сосуд	
		почвы	удобрения		почвы	удобрения		почвы	удобрения
Контроль (без удобрений)	0,4	16,4	—	0,6	25,0	—	— 1,4	29,9	—
РК	1,0	26,5	—	2,0	36,5	—	0,4 2,0	37,0	—
То же + известь	1,9	48,7	—	4,0	65,0	—	3,4 3,7	67,9	—
» » +шлак	2,0	52,9	—	4,6	77,4	—	3,1 4,4	79,5	—
<sup>15</sup> NPK	1,6	20,0	55,1	10,4	87,5	137,0	5,4 8,8	84,2	136,2
То же + известь	5,0	32,4	98,4	15,7	102,5	171,3	9,7 12,6	106,0	169,2
» » +шлак	5,1	30,6	102,5	15,1	100,8	190,2	11,3 13,1	110,5	186,4
НСР <sub>05</sub>							0,6 0,6		

П р и м е ч а н и е. Шлак и известь в опытах внесены по 1,0 г. к.

Урожай райграса многоукосного и вынос растениями азота почвы и удобрения  
(в сумме за 3 укоса). Вегетационный опыт 2

Вариант опыта	1976 г. (действие)			1977 г. (последствие)		
	сухая масса, г/сосуд	использовано N, мг/сосуд		сухая масса, г/сосуд	использовано N мг/сосуд	
		почвы	удобрения		почвы	удобрения
Без удобрения	2,2	47,0	—	2,0	40,5	—
То же +шлак	5,1	117,1	—	2,7	66,7	—
» » + известь	4,9	125,0	—	2,6	63,8	—
P <sub>0,4</sub> K <sub>0,4</sub>	5,0	85,0	—	1,6	31,8	—
То же +шлак	6,3	100,4	—	3,0	66,5	—
» » + известь	6,0	101,6	—	2,6	57,9	—
PK <sup>15</sup> N <sub>0,23</sub>	8,9	133,9	110,4	7,3	69,8	115,9
То же +шлак	10,8	147,8	122,8	9,2	97,1	135,3
» » + известь	9,8	145,9	119,6	8,3	90,3	127,1
PK <sup>15</sup> N <sub>0,46</sub>	12,8	193,6	190,4	12,4	102,2	199,1
То же +шлак	15,1	200,0	235,5	15,2	123,7	257,6
» » + известь	14,5	197,7	229,1	14,6	124,0	248,8
НСР <sub>05</sub>	0,4	—	—	0,5	—	—

Суммарные прибавки (за 2 года), полученные в результате внесения шлака и извести при увеличении уровня азотного питания, возрастали соответственно на 34 (5,1 г против 3,8 г) и 105 % (3,9 г против 1,9 г).

Известкование почвы оказывает существенное влияние на азотное питание растений не только в первый год, но и на следующий. Так, если при внесении шлака и извести суммарный вынос азота почвы и удобрения по фону НРК повысился на 9,8—12,2 %, то в последующий год — на 21,6—25,2 %, причем действие известкования на использование азота из удобрения было наиболее эффективно на фоне 460 мг азота.

Использование стабильного изотопа <sup>15</sup>N позволило установить, что азот сульфата аммония в минеральной форме обнаруживается в почве непродолжительное время. Так, через 16 дней от начала опыта в почве было зафиксировано только 52,7 мг меченого <sup>15</sup>N минерального азота в 1 кг, или 43,9 % внесенного (табл. 3). При внесении извести и шлака сульфат аммония еще быстрее использовался растениями, поэтому в первый срок анализа в почве его осталось всего лишь 35,0—36,6 % от первоначального уровня. Известковые удобрения, нейтрализуя почвенную кислотность, значительно усиливали процессы нитрификации в почве. Так, если без известкования в почве преобладал минеральный азот в аммиачной форме — 90,7 %, то при внесении шлака и извести — в нитратной форме — 78,8—84,0 %.

Начиная с 58-го дня вегетации в почве обнаруживались только следы меченого минерального азота.

Как уже отмечалось, шлак и известь способствовали мобилизации почвенного азота, поэтому растения известкованных вариантов использовали его в большем количестве (табл. 1 и 2). Это также подтверждается данными о динамике содержания немеченого минерального азота в почве, причем мобилизирующая способность мелиорантов по фону азотных удобрений была выше. Так, через 16 дней от начала опыта сумма намеченого минерального азота в почве (NH<sub>4</sub>+NO<sub>3</sub>) при известковании на фоне НРК составила 74,2—78,4 мг/кг, что на 39,0—43,8 мг выше, чем в соответствующих вариантах без азотного удобрения (табл. 3). И если на фоне РК содержание немеченого минерального азота в почве при внесении шлака и извести было на 19,3—

Динамика содержания меченных <sup>15</sup>N минеральных соединений азота сульфата аммония в почве (мг/кг) при внесении шлака и извести. Опыт 1.

Вариант опыта	N—NO <sub>3</sub>			N—NH <sub>4</sub>			Сумма		
	число дней от начала опыта								
	16	58	82	16	58	82	16	58	82
Меченый азот									
<sup>15</sup> NPK	4,9	0,1	—	47,8	0,6	—	52,7	0,7	—
То же +известь	33,1	0,3	—	8,9	0,2	—	42,0	0,5	—
» » +шлак	36,9	0,4	—	7,0	0,2	—	43,3	0,6	—
Немеченый азот									
Контроль (без удобрений)	10,1	3,5	2,4	2,1	0,5	—	12,2	4,0	2,4
PK	11,8	4,6	3,8	3,4	1,0	0,2	15,3	5,6	4,0
То же +известь	16,4	7,3	7,6	18,2	2,5	0,1	34,6	9,8	7,7
» » +шлак	18,8	6,4	8,7	16,4	4,0	0,1	35,2	10,4	8,8
<sup>15</sup> NPK	35,4	7,8	5,2	5,8	2,6	0,5	41,2	10,4	5,7
То же +известь	25,8	14,4	9,4	52,6	4,0	1,5	78,4	18,4	10,9
» » +шлак	28,8	12,2	10,2	45,4	8,3	2,4	74,2	20,5	12,6

19,9 мг/кг выше, чем в вариантах без известкования, то на фоне NPK — на 33,0—37,2 мг. Через 16 дней при внесении шлака и извести по фону PK и NPK вследствие усиления нитрификации общее количество нитратного азота в почве повысилось соответственно до 46,6—52,2 и 61,2—67,1 % (в вариантах PK и NPK составило 12,6—22,8 %).

В последующий период (через 58 и 82 дня) содержание немеченого минерального азота в почве во всех вариантах в связи с интенсивным потреблением его растениями и микроорганизмами резко снизилось (табл. 1 и 3).

Для того чтобы рационально использовать азотные удобрения, необходимо знать, в какой период после их внесения азот наиболее интенсивно потребляется растениями, закрепляется в почве и теряется. Шлак и известь оказали значительное влияние на использование растениями азота удобрения и его потери. Так, уже через 16 дней с начала вегетации в вариантах с известкованием ячмень использовал на 14,4—15,8 % азота удобрения больше, чем на неизвесткованном фоне. Причем потери этого элемента сократились на 7,7—9,9 % от внесенного и составили 12,8—15,0 % (табл. 4).

Таблица 4

Баланс азота сульфата аммония (% от внесенного) при известковании почвы шлаком и известью. Вегетационный опыт 1.

Статьи баланса	Число дней от начала опыта	<sup>15</sup> NPK	<sup>15</sup> NPK +известь	<sup>15</sup> NPK +шлак	
Использовано растениями	16	18,4	32,8	34,2	
	58	45,6	57,1	63,4	
	82	45,4	56,4	62,1	
Остаток в почве:	в минеральной форме	16	43,9	35,0	36,6
		58	0,6	0,4	0,5
		82	—	—	—
	в органической форме	16	15,0	17,2	16,4
		58	19,6	20,0	20,8
		82	19,5	21,0	20,2
	Потери	16	22,7	15,0	12,8
		58	34,2	22,5	15,3
		82	35,1	22,6	17,7

В фазу колошения (через 58 дней), когда азот удобрения был полностью использован растениями и микроорганизмами, вынос его ячменем по извести составил 57,1 %, по шлаку — 63,4 % от внесенного (на фоне NPK без извести — 45,6 %). За этот период в вариантах с известкованием иммобилизация азота удобрения в органическом веществе почвы составила 20,0—20,8 % от первоначальной дозы и как в предыдущей, так и в последующий период существенно не отличалась от соответствующего показателя в варианте без известкования. Потери же азота удобрения в эту фазу по извести и шлаку были меньше соответственно на 11,7 и 18,9 % от внесенного количества, чем по неизвесткованному фону.

К моменту уборки (через 82 дня) существенных изменений в балансе азота удобрения не произошло. Таким образом, за вегетационный период ячменя благодаря внесению извести и шлака азота удобрения было использовано соответственно на 11,0 (56,4 %) и 16,7 % (62,1 %) больше, чем без известкования, причем потери азота в первом случае оказались меньше на 12,5 %, в последнем — на 17,5 % от внесенного количества.

Известно, что растения наиболее чувствительны к кислотности почвы в начале своего развития, поэтому в варианте с кислой почвой питание азотом было недостаточным именно в данный период, а следовательно, в это время (через 16 дней с начала вегетации) потери азота удобрения из почвы были наибольшие — 64,7 % общих потерь за весь вегетационный период. В то же время шлак и известь, нейтрализуя почвенную кислотность, создавали благоприятные условия для азотного питания растений в начальный период их развития. В результате через 16 дней с начала вегетации в известкованных вариантах растения использовали 55,1—58,2 % всего потребленного в течение вегетации азота удобрения, а на неизвесткованном фоне — лишь 40,5 %. До конца вегетации во всех вариантах опыта растения использовали почти одинаковое количество азота удобрения (23,6—27,9 % от внесенного). Следовательно, снижение потерь азота удобрения при химической мелиорации почвы шлаком и известью (на 12,5—17,4 %) можно объяснить более интенсивным потреблением его в первоначальный период роста растений, когда потери этого элемента наибольшие.

Следует также отметить, что коэффициент использования азота из удобрения по шлаку был на 5,7 % выше, чем по извести, а потери его на 4,9 % ниже, в то время как количество иммобилизованного азота различалось несущественно.

В опыте 2 был рассчитан баланс азота аммиачной селитры, внесенной в двух дозах (230 и 460 мг) в 1-й год действия шлака и извести и в их последствии. Мелиоранты сильнее влияли на использование растениями азота удобрения и его потери при повышенном уровне азотного питания. Так, если при дозе 230 мг благодаря известкованию было использовано азота удобрения в 1-й год больше на 4,0—5,4 % от внесенного количества, а потери его были на 4,8—7,0 % меньше, то при внесении шлака и извести на фоне 460 мг азота по сравнению с неизвесткованным фоном коэффициент использования этого элемента из удобрения повысился на 8,4—9,8 %, а потери сократились на 9,0—10,7 % (табл. 5). Влияние извести и шлака на потребление растениями азота удобрения и его потери было еще более значительным в год их последствии. Азот аммиачной селитры при дозе 230 мг и внесении шлака и извести использовался растениями в большем количестве соответственно на 8,8 и 5,3 %, а потери были на 10,7 и 6,4 % меньше, чем в варианте без известкования; при дозе 460 мг использование азота было соответственно на 12,7 и 10,8 % больше, а потери на 13,6 и 11,9 % меньше.

Баланс азота аммиачной селитры при известковании почвы  
(в числителе — 1976 г., в знаменателе — 1977 г.). Опыт 2.

Вариант опыта	Доза азота, мг	Использовано растениями	Закрепилось в почве	Потери
	% от внесенного			
<sup>15</sup> NPK	230	48,0	16,8	35,2
	230	50,0	17,1	32,9
То же +шлак	230	53,4	18,4	28,2
	230	58,8	19,0	22,2
» » +известь	230	52,0	17,6	30,4
	230	55,3	18,2	26,5
<sup>15</sup> NPK	460	41,4	15,9	42,7
	460	43,3	16,5	40,2
То же +шлак	460	51,2	16,8	32,0
	460	56,0	17,4	26,6
» » + известь	460	49,8	16,5	33,7
	460	54,1	17,6	28,3

Таким образом, химическая мелиорация почвы шлаком и известью является эффективным приемом повышения использования растениями азота удобрения и снижения его газообразных потерь.

Как известно, в почве наряду с иммобилизацией минерального азота почвы и внесенных удобрений непрерывно происходят процессы минерализации органического вещества. При внесении азота в дозе 300 мг в кислую дерново-подзолистую почву иммобилизация азота сульфата аммония после уборки ячменя составила 19,5 % от первоначального уровня, а дополнительно (по сравнению с контролем PK) растения использовали 15,7 % азота почвы, т. е. иммобилизация превышала дополнительное усвоение растениями азота почвы на 3,8 % (табл. 6). При внесении шлака и извести дополнительное (по сравнению с вариантом PK) усвоение растениями азота почвы составило 23,0—24,5 %, а количество иммобилизованного азота удобрения — 20,2—21,0 % от внесенного, т. е. в этом случае мобилизация преобладала над

Таблица 6

Превращение азота в почве (% от внесенного) при ее известковании

Вариант опыта	Доза азота, мг	Иммобилизовано из удобрения ( <sup>15</sup> N)	Дополнительно усвоено из почвы ( <sup>15</sup> N) по сравнению с контролем (PK)	Чистая иммобилизация (—) или мобилизация (+)
Опыт 1				
PK+( <sup>15</sup> NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	300	19,5	15,7	—3,8
То же +известь	300	21,0	23,0	+2,0
» » +шлак	300	20,2	24,5	+4,3
Опыт 2				
PK+ <sup>15</sup> NH <sub>4</sub> <sup>15</sup> NO <sub>3</sub>	230	17,1	16,5	—0,5
То же +шлак	230	19,0	28,4	+9,4
» » +известь	230	18,2	25,4	+7,2
PK+ <sup>15</sup> NH <sub>4</sub> <sup>15</sup> NO <sub>3</sub>	460	16,5	15,4	—1,2
То же +шлак	460	17,4	19,9	+2,5
» » +известь	460	17,6	20,0	+2,4

иммобилизацией. Аналогичные результаты получены и в другом вегетационном опыте. Таким образом, если в кислой почве при внесении азотного удобрения преобладают процессы иммобилизации, то при ее известковании соотношение между процессами мобилизации и иммобилизации изменяется в сторону преобладания первых, что необходимо учитывать в целях рационального использования азотных удобрений.

### Заключение

Исследования с использованием стабильного изотопа  $^{15}\text{N}$  показали, что мартеновский шлак способствует потреблению растениями азота почвы и удобрения. Коэффициент использования азота в зависимости от вида и дозы удобрения при внесении шлака повысился на 5,4—16,7 %, а потери сократились на 7,0—17,4 %. При внесении шлака процессы мобилизации в почве преобладали над иммобилизацией.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Динчев Д. И. Исследование баланса внесенного в почву азота с применением  $^{15}\text{N}$ . — *Агрохимия*, 1964, № 7, с. 19—22.
2. Кореньков Д. А. Агрохимия азотных удобрений. М.: Наука, 1976.
3. Лимантова Е. М. Эффективность азота в зависимости от степени кислотности дерново-подзолистых почв. — Автореф. канд. дис. Минск, 1972.
4. Мерзляков Л. А., Решетникова Н. В., Юдин Ф. А. Урожай сельскохозяйственных культур и превращение азотнокислого аммония в почве при внесении шлака и известки по разному фону минерального питания. — *Изв. ТСХА*, 1978, вып. 3, с. 107—115.
5. Панников В. Д., Минеев В. Г. Почва, климат, удобрение и урожай. М.: Колос, 1977.
6. Петербургский А. В., Муравин Э. А., Жигарева Т. Л. Использование овсом и цветной капустой аммиачной селитры и азота почвы в зависимости от известкования дерново-подзолистых почв и внесения молибдена. — В сб.: *Применение стабильного изотопа  $^{15}\text{N}$  в исследованиях по земледелию*. М.: Колос, 1973, с. 246—250.
7. Прокошев В. Н., Попова С. И. Основные вопросы известкования кислых почв в Предуралье. — В сб.: *Известкование кислых почв в Предуралье*. Т. 4. Пермь, 1976, с. 5—24.
8. Русинова И. П. Поступление в растение и использование различных форм азота. — В кн. *Азот в земледелии Нечерноземной полосы*. Л.: Колос, 1973, с. 55—94.
9. Смирнов П. М. Превращение азотных удобрений в почве и их использование растениями. — Автореф. докт. дис. М., 1970.
10. Смирнов П. М. Превращение азота удобрений в почве и его использование растениями. — В сб.: *Применение стабильного изотопа  $^{15}\text{N}$  в исследованиях по земледелию*. М.: Колос, 1973, с. 189—199.
11. Шемпель В. И., Безлюдный Н. Н. Использование ячменем азота удобрений и почвы в зависимости от форм и способов внесения. — В сб.: *Применение стабильного изотопа  $^{15}\text{N}$  в исследованиях по земледелию*. М.: Колос, 1973, с. 214—222.
12. Delteil Y. — *Trait. Union Agr.*, 1977, N 64, p. 9—12.
13. Helyar K. R. — *The Austral. J. of Agr. Sci.*, 1976, vol. 42, N 4, p. 217—221.

*Статья поступила 13 июня 1980 г.*

### SUMMARY

Investigations with the use of stable isotope  $^{15}\text{N}$  have shown that open-hearth slag contributes to better uptake of soil and fertilizer nitrogen by plants. Under the effect of slag supplement the coefficient of nitrogen utilization depending on the kind and rate of fertilizer increased by 5.4—16.7 % while losses decreased by 7.0—17.4 %. With slag supplement the processes of mobilization in the soil prevailed over immobilization.