

КОЭФФИЦИЕНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ С.-Х. КУЛЬТУРАМИ МЕЧЕНОГО ^{15}N АММОНИЙНОГО И НИТРАТНОГО АЗОТА ПРИ ИЗВЕСТКОВАНИИ И ВНЕСЕНИИ МОЛИБДЕНА

И.В. ВЕРНИЧЕНКО

(Кафедра агрономической и биологической химии
РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева)

В статье рассмотрено влияние различных условий на конечные коэффициенты использования отдельными с.-х. культурами и баланс в дерново-подзолистой и серой лесной почвах вносимого азота удобрений.

Ключевые слова: меченые ^{15}N удобрения, аммонийный и нитратный азот, коэффициенты использования растениями, баланс азота в почве, известкование, молибден.

Одна из центральных проблем агрохимии азота, от решения которой во многом зависит эффективность применения минеральных азотных удобрений, — это установление приоритета в использовании различными сельскохозяйственными культурами аммонийного и нитратного азота. Результаты сравнительного изучения поглощения этих форм азота, при одновременном их наличии в среде, проведенного Д.Н. Прянишниковым [17], в основном с водными культурами, показали, что оптимальные условия для использования растениями N-NH_4^+ и N-NO_3^- различны, а преимущество одной формы азота перед другой зависит от многих внешних и внутренних факторов. В настоящее время выводы, полученные в этих классических исследованиях, расширены и дополнены благодаря применению изотопной методики. В данной серии публикаций планируется обобщить результаты многолетних исследований автора по изучению различных вопросов питания растений аммонийным и нитратным азотом, проведенных с помощью меченых

^{15}N соединений, частично опубликованных ранее [1—5, 13-15, 22, 23, 25].

В литературе имеются различные мнения о конечных коэффициентах использования растениями азота меченых аммонийных и нитратных удобрений, внесенных в почву до посева. Некоторые исследователи считают, что использование азота из этих форм одинаково [7, 8, 10, 12, 16, 19, 27, 28], другие констатируют лучшее потребление азота нитратных удобрений [9], в то время как третьи [20] указывают на преимущественное использование растениями аммонийного азота удобрения по сравнению с нитратными. В результате более детальных исследований было установлено, что лучшее усвоение опытными культурами той или иной формы азотных удобрений зависит от следующих факторов: фиксирующей способности почвы [19], кислотности [12, 19], наличия в почве кроме азота других элементов питания [10, 18], биологических особенностей культур [7, 8, 10, 12, 19] и других условий.

Следует отметить, что аммонийный азот в почве интенсивно подвер-

гается нитрификации, скорость которой возрастает при благоприятных условиях, т.е. при достаточной аэрации и близкой к нейтральной реакции среды. Поэтому различия в использовании растениями этих двух форм азота будут обусловлены в основном процессами их трансформации в почве, происходящими в первый период после внесения.

Анализ приведенных литературных данных показывает, что вопрос потребления растениями аммонийного и нитратного азота удобрений требует дальнейшего углубленного изучения на самом современном уровне с использованием, в частности, метода изотопной индикации, дающего возможность получить наиболее достоверные результаты. Это необходимо для поиска наиболее рациональных способов и времени применения азотных удобрений, а также для разработки путей повышения их эффективности. Среди условий, влияющих на эти показатели, кроме перечисленных выше, существенная роль принадлежит известкованию почвы, а также уровню обеспеченности другими элементами питания, не только макро-, но и микроэлементами, играющими ключевую роль в азотном обмене растений, в частности, в процессах усвоения ими аммонийного и нитратного азота.

В связи с вышеизложенным в наших опытах, проводимых в течение многих лет в вегетационном домике кафедры агрономической и биологической химии РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева, а также в институте зернобобовых и крупяных культур (г. Орел) среди прочих ставилась также задача установить конечные коэффициенты использования различными растениями аммонийного и нитратного азота удобрений в зависимости от способов и времени их внесения, а также применения извести и микроэлементов. В качестве опытных культур были выбраны растения ячменя,

цветной капусты, овса, гречихи и различные зернобобовые культуры.

Закладка и проведение вегетационных и микрополевых опытов с почвенными культурами (дерново-подзолистая почва, Московская обл. и серая лесная почва различной степени окультуренности, Орловская обл.) проводилась по общепринятым методикам в агрохимических исследованиях [21]. Для решения поставленных задач во всех проводимых нами экспериментах в качестве азотных удобрений применяли соли, меченые стабильным изотопом азота ^{15}N , которые вносили как до посева, так и в виде корневых и некорневых подкормок в различные периоды вегетации растений.

В результате проведенных опытов было подтверждено, что внесение различных форм азотных удобрений корнем повышает продуктивность выращиваемых культур и значительно увеличивает общие размеры потребления ими азота. Эффективность внесения аммонийных и нитратных азотных удобрений возрастала при перенесении части дозы азота из допосевного удобрения ближе к периоду максимального его потребления, а также при использовании извести и микроэлементов. Более подробно влияние изучаемых факторов на урожайные и качественные показатели выращиваемых опытных культур, а также на уровень потребления ими азота представлены в [13-15].

Применение в наших исследованиях соединений, меченых стабильным изотопом ^{15}N , позволило разграничить в использовании опытными растениями азота из почвы и различных удобрений и выяснить влияние на эти процессы времени и способов внесения азота, известкования почвы и применения молибдена, а также количественно оценить влияние этих факторов на показатели баланса внесенного удобрений в почве.

Установлено, что при внесении всей дозы азотных удобрений в начале вегетации ячмень одинаково использует азот аммонийных и нитратных удобрений, а также аммонийную и нитратную формы азота NH_4NO_3 (табл. 1 и 2). Увеличение дозы извести существенно не сказывается на конечном использовании ячменем азота этих двух форм внесенного азота.

Применение молибдена приводит к некоторому повышению коэффициентов использования растениями яч-

меня внесенного до посева как аммонийного, так и нитратного азота удобрений, причем в последнем случае это влияние более заметно. Необходимо подчеркнуть, что положительное действие молибдена усиливается при известковании почвы меньшей дозой, так как в этом случае (более кислая реакция среды) почвенные запасы данного микроэлемента находятся в менее доступной для растений форме [6].

При выращивании цветной капусты была также установлена практически

Т а б л и ц а 1

Использование ячменем азота удобрений и почвы в зависимости от внесения молибдена и извести (вегетационные опыты, дерново-подзолистая почва)

Форма и доза азотного удобрений, N мг на сосуд	Внесение Mo 1 мг/кг почвы	Коэффициент использования N удобрений, % от внесенного, рассчитанный			Меченый азот удобрений, % от общего азота в растении	N почвы, мг/сосуд
		разностным методом	изотопным методом			
			в целом из удобрения	$\frac{\text{N-}^{15}\text{NH}_4}{\text{N-}^{15}\text{NO}_3}$		
<i>Опыт № 1. Известь по 1/4 Нз</i>						
Фон — РК	—	—	—	—	—	26
Фон + NH_4NO_3 300 до посева	—	38	36	$\frac{38}{34}$	80	27
	+	46	43	$\frac{44}{42}$	79	33
<i>Известь по 1,0 Нз</i>						
Фон — РК	—	—	—	—	—	82
Фон + NH_4NO_3 300 до посева	—	43	39	$\frac{40}{38}$	56	91
	+	47	43	$\frac{43}{43}$	57	94
НСР ₀₅		3,8	3,4			
<i>Опыт № 2. Известь по 1,0 Нз</i>						
Фон + NH_4NO_3 900 до посева	—	79	64	—	73	210
	+	78	65	—	74	212
Фон + NH_4NO_3 450 в некорневую подкормку в фазу молочной спелости	—	60	33	$\frac{33}{34}$	21	555
	+	64	34	$\frac{34}{35}$	21	577
НСР ₀₅		5,4	4,2			

Использование ячменем азота удобрений и почвы в зависимости от времени внесения азота (вегетационные опыты, дерново-подзолистая почва)

Форма, время внесения и доза азотного удобрения, N мг на сосуд	Коэффициент использования N удобрения, % от внесенного, рассчитанный			Меченый азот удобрений, % от общего азота в растении	N почвы, мг/сосуд
	раз- ностным методом	изотопным методом			
		в целом из удобрения	$\frac{N-^{15}NH_4}{N-^{15}NO_3}$		
<i>Опыты № 3, 4. Известь по 1,0 Нг</i>					
Фон — РК	—	—	—	—	93
$(NH_4)_2SO_4$, 450 до посева	82	49	—	48	242
$Ca(NO_3)_2$ 450 до посева	85	56	—	52	225
NH_4NO_3 450 до посева	85	48	$\frac{50}{46}$	45	258
Фон* + NH_4NO_3 225 в корневую подкормку в фазу выхода в трубку	110	70	$\frac{73}{68}$	31	349
Фон* + то же в некорневую подкормку	57	24	$\frac{20}{29}$	13	359
Фон* + NH_4NO_3 225 в корневую подкормку в фазу колошения	55	49	$\frac{45}{53}$	29	272
Фон* + то же в некорневую подкормку	32	25	$\frac{22}{27}$	17	273
Фон* + NH_4NO_3 225 в корневую подкормку в фазу молочной спелости	40	39	$\frac{34}{43}$	25	259
Фон* + то же в некорневую подкормку	23	21	$\frac{17}{25}$	14	263
HCP_{05}	5,4	4,8			

* Фон — РК + $^{14}NH_4^{14}NO_3$.

одинаковая степень использования растениями меченого аммонийного и нитратного азота аммиачной селитры при ее внесении до высадки рассады (табл. 3). Однако коэффициенты использования цветной капустой аммонийного азота из $(^{15}NH_4)_2SO_4$ были заметно ниже, что, по-видимому, объясняется значительной физиологической кислотностью данного азотного удобрения. При этом меченый азот удобрений, внесенных с начала вегетации, как у ячменя, так и у цветной капусты, составлял в большинстве случаев от 50 до 70% от общего его выноса (см. табл. 1, 2 и 3).

В отличие от ячменя у цветной капусты в связи с ее биологическими особенностями степень использования азота удобрений существенно зависела от применения известки и молибдена. В среднем реальное использование растениями цветной капусты азота удобрений при увеличении нормы известкования с 1/4 до 1,0 Нг, независимо от внесения молибдена, возросло на 10[«] 15%. Под действием молибдена коэффициенты использования азота дополнительно увеличивались также на 10[«] 15%.

Одним из путей повышения эффективности использования с.-х. рас-

Использование цветной капусты азота удобрений и почвы в зависимости от внесения извести и молибдена (вегетационные опыты, дерново-подзолистая почва)

Вариант			Коэффициент использования N удобрений, % от внесенного, рассчитанный			Азот удобрений, % от общего выноса	Азот почвы, мг/с-суд
доза извести	азотные удобрения	внесение Mo, 1 мг/кг почвы	разностным методом	изотопным методом			
				в целом из удобрения	$\frac{N-^{15}NH_4}{N-^{15}NO_3}$		
<i>Опыт № 6</i>							
¼ Нг	Без N	—	—	—	—	—	22
	NH ₄ NO ₃	—	87	57	$\frac{58}{57}$	63	190
	NH ₄ NO ₃	+	92	63	$\frac{62}{64}$	61	220
1.0 Нг	Без N	—	—	—	—	—	140
	NH ₄ NO ₃	—	86	60	$\frac{62}{58}$	54	280
	NH ₄ NO ₃	+	97	72	$\frac{70}{75}$	56	320
<i>Опыт № 9</i>							
1.0 Нг	Без N	—	—	—	—	—	170
	(NH ₄) ₂ SO ₄	—	81	48	—	46	420
	(NH ₄) ₂ SO ₄	+	82	50	—	47	420
	NH ₄ NO ₃	—	75	62	$\frac{60}{63}$	62	280
	NH ₄ NO ₃	+	83	65	$\frac{63}{68}$	61	310
НСР ₀₅			7,3	5,9			

тениями азота минеральных удобрений, кроме известкования и применения микроэлементов, является его дробное внесение [7, 9, 10, 12, 18, 19, 24]. В связи с этим, по нашему мнению, представляло интерес определить степень использования растениями различных форм минерального азота при их внесении не только с начала вегетации, но и при перенесении части его в корневые и некорневые подкормки в различные фазы развития растений. В таблицах 1, 2 и 4 приведены результаты исследований соответственно с ячменем и цветной капустой.

Показано, что размеры использования меченого аммонийного и ни-

тратного азота подкормок опытными растениями зависели от времени и способа внесения удобрений и были тем ниже, чем позже они проводились. Так, при корневых азотных подкормках ячменя в период наибольшего его потребления — в фазу выхода в трубку — коэффициенты их использования были значительно больше, чем при допосевном внесении азота (см. табл. 2). Данная закономерность, по-видимому, связана с повышением в это время конкурентной способности корней растений к поглощению азота по сравнению с почвенными микроорганизмами, участвующими в иммобилизации и денитрификации вносимого элемента питания. В дан-

Использование цветной капустой азота корневых подкормок и почвы
(вегетационные опыты, дерново-подзолистая почва)

Азотные удобрения (N мг на сосуд)		Вне- сение Mo, 1 мг/кг	Коэффициент использования N удобрений, % рассчитанный			N почвы + фон, мг/сосуд
фон $^{14}\text{NH}_4^{14}\text{NO}_3$ до посадки	азотная подкормка перед формированием головок		раз- ностным методом	изотопным методом		
				в целом из $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	$\frac{\text{N-}^{15}\text{NH}_4}{\text{N-}^{15}\text{NO}_3}$	
<i>Опыт №7</i>						
275 мг ^{14}N	$^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3; \text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	—	106	87	$\frac{89}{85}$	510
	275 мг	+	132	89	$\frac{87}{91}$	520
<i>Опыт №10</i>						
750 мг ^{14}N	—	—	—	—	—	370
	—	+	—	—	—	470
750 мг ^{14}N	$^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3; \text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	—	104	76	$\frac{72}{81}$	580
	375 мг	+	115	83	$\frac{78}{88}$	600
750 мг ^{14}N	$(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	—	108	73	—	610
	375 мг	+	115	75	—	620
750 мг ^{14}N	$\text{Ca}(^{15}\text{NO}_3)_2$	—	87	75	—	520
	375 мг	+	115	86	—	580
<i>Опыт №14</i>						
900 мг ^{14}N	—	—	—	—	—	830
	—	+	—	—	—	855
900 мг ^{14}N	$(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	—	90	76	—	900
	450 мг	+	118	84	—	980
900 мг ^{14}N	$\text{Ca}(^{15}\text{NO}_3)_2$	—	137	79	—	1090
	450 мг	+	155	90	—	1160
900 мг ^{14}N	$^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3; \text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	—	82	77	$\frac{74}{79}$	850
	450 мг	+	115	90	$\frac{88}{93}$	940
900 мг ^{14}N	$^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3; \text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	—	40	29	$\frac{27}{31}$	1070
	450 мг при диаметре головки 12 см	+	42	31	$\frac{28}{38}$	1070
HCP _{0,95}			8,4	6,8		

ном случае конечные коэффициенты использования растениями как аммонийного, так и нитратного азота NH_4NO_g были практически равными.

При более позднем внесении азота (в фазу колошения ячменя) степень его использования снижалась сначала до уровня допосевного удобрения,

а затем (при подкормке в молочную спелость зерна) еще ниже.

Азот корневых подкормок при всех сроках их проведения использовался растениями ячменя значительно полнее, чем корневых, что, вероятно, объясняется не только неполным попаданием раствора на растения, но и улетучиванием поверхностно нанесенного на них азота [7, 9]. Как из корневых, так и из некорневых подкормок в большинстве случаев более продуктивно растения ячменя использовали нитратную форму азота NH_4NO_3 (см. табл. 2).

Растения цветной капусты обладают ярко выраженным максимумом потребления азота перед формированием головок, соответственно коэффициенты использования азота корневых подкормок, проведенных в этот период, были значительно выше, чем азота допосевого удобрения, и достигали 70–80% и более от внесенного (см. табл. 4), в то время как при внесении всей нормы азота с начала вегетации — лишь около 60% (см. табл. 3).

Практически во всех случаях нитратный азот корневых подкормок использовался цветной капустой, как и в опытах с ячменем, полнее, чем аммонийный, что, по-видимому, обусловлено большей подвижностью и меньшей микробиологической иммобилизацией этой формы азота в почве и, следовательно, более высокой скоростью передвижения к корням растений и поглощения ими.

Внесение молибдена за сутки до проведения азотной подкормки создавало более благоприятные условия для усвоения растениями не только нитратной (окисленной), но и аммонийной (восстановленной) формы азота, коэффициенты использования меченого азота подкормок в этом случае достигали максимальных величин — 85–90% от внесенного (см. табл. 4). Однако следует отметить, что при изучении влияния молибдена

на степень усвоения именно аммонийной формы азота в условиях обычных вегетационных опытов при использовании довольно длительных экспозиций (до товарной спелости головок) в почве невозможно исключить влияние интенсивного и постоянно идущего процесса нитрификации внесенного аммонийного азота. Для того чтобы более корректно изучить этот вопрос, в дальнейшем нами были использованы короткие экспозиции после внесения метки ^{15}N и стерильные опыты (эти данные планируются к публикации в следующих сообщениях).

Нами изучалось также влияние нормы внесения аммиачной селитры и степени окультуренности серой лесной почвы на использование азота удобрений растениями. Исследования с применением в качестве азотных удобрений $^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ проводились в вегетационных и микрополевых опытах (сосуды без дна) с различными растениями, в т.ч. и с бобовыми. Показано, что в условиях вегетационных опытов коэффициенты использования азота аммиачной селитры растениями овса и гречихи (табл. 5) практически не зависели (в интервале испытанных доз) от нормы ее внесения и составляли около 40–50%. В полевых условиях степень потребления вносимого с удобрениями азота, в связи с благоприятными погодными условиями, была выше, чем в вегетационных опытах, и конечные коэффициенты использования азота снижались при увеличении его дозы, причем это снижение было более отчетливо выражено на менее окультуренной почве. Коэффициенты использования азота аммиачной селитры растениями зависели также от степени окультуренности почвы: на более окультуренной почве растения гречихи более полно использовали азот аммиачной селитры, чем на менее окультуренной почве (см. табл. 5), что согласуется с данными, полученными в опытах с зерновыми культурами [8, 10].

Использование овсом и гречихой азота удобрений и почвы
(вегетационные и микрополевые опыты, серая лесная почва)

Доза азота, мг/кг	Коэффициент использования N удобрений, %		Азот удобрений		Азот почвы, мг/сосуд
	разностный метод	изотопный метод	мг/сосуд	% от общего выноса	
<i>Вегетационный опыт № 16. Овес, малоокультуренная почва</i>					
Без азота*	—	—	—	—	80
20	67	51	40.4	31	90
50	49	40	79.1	45	100
100	66	46	180	53	160
200	69	56	450	72	175
<i>Вегетационный опыт № 17. Гречиха, малоокультуренная почва</i>					
Без азота*	—	—	—	—	85
20	77	39	31	21	115
50	88	40	100	38	165
100	64	47	190	54	155
200	59	44	347	62	210
<i>Микрополевой опыт № 7. Гречиха, малоокультуренная почва</i>					
Без азота*	—	—	—	—	580
10	141	76	76	11	645
25	79	60	150	19	625
50	130	68	340	28	890
100	71	33	330	25	960
<i>Микрополевой опыт № 8. Гречиха, хорошо окультуренная почва</i>					
Без азота*	—	—	—	—	650
10	178	85	85	11	740
25	118	86	215	23	730
50	148	64	320	23	1070
100	92	56	560	36	1010

* В качестве фона вносили РК по 100 мг/кг почвы.

Во всех опытах с различными опытными культурами и на всех испытанных почвах (см. табл. 2-5) при внесении азотных удобрений с начала вегетации или в подкормки наблюдалось характерное дополнительное использование растениями азота почвы. Вследствие этого коэффициенты использования азота как основных удобрений, так и подкормок, вычисленные по разнице с фоном, оказались, как и в опытах других исследователей, значительно выше его реального потребления растениями непосредственно из меченого ¹⁵N удобрения.

Дополнительное использование растениями почвенного, так называемого «экстра-азота», возрастало при увеличении нормы извести и при применении молибдена (см. табл. 2—4), что связано с положительным влиянием этих факторов на микробиологическую активность почв, с улучшением при этом физиологического состояния опытных растений, а также рядом других причин. Величина «экстра-азота» в серой лесной почве возрастала при увеличении дозы азотных удобрений и при повышении степени окультуренности почвы.

Использование в качестве удобрений высокообогащенных ^{15}N солей позволило нам проследить за их поведением в почве и дать количественную оценку влиянию изучаемых факторов на отдельные статьи баланса вносимого азота (табл. 6 и 7).

Установлено, что показатели баланса азота, вносимого в условиях вегетационных опытов в дерново-подзолистую (см. табл. 6) и серую лесную почву (см. табл. 7), хотя и колеблются в определенных пределах в зависимости от изучаемых факторов, но в целом подчиняются следующей закономерности: половина неисполь-

зованного растениями азота удобрений закрепляется в почве, а другую половину составляют его газообразные (определенные по дефициту азота) потери, хотя в отдельных случаях размеры иммобилизации и потерь азота могут изменяться в довольно широких пределах.

Показано, что складывающийся баланс азота вносимых удобрений в наших опытах, как и в исследованиях других авторов, проводимых с меткой ^{15}N [7, 9, 12, 18, 19], существенным образом зависит от выращиваемой культуры, формы азота и ряда других условий.

Т а б л и ц а 6

Показатели баланса в почве меченого аммонийного и нитратного азота удобрений в зависимости от внесения молибдена и извести при выращивании ячменя и цветной капусты
(% от внесенного азота, вегетационные опыты, дерново-подзолистая почва)

Доза извести	Форма азота	– Мо			+ Мо		
		использовано растениями	осталось в почве	потери	использовано растениями	осталось в почве	потери
<i>Ячмень, опыт № 1</i>							
1/4 Нг	$^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$	38	46	16	44	44	12
	$\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	34	36	30	42	36	22
1,0 Нг	$^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	36	41	23	43	40	17
	$^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$	40	38	22	43	46	11
	$\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	38	30	32	43	37	20
	$^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	39	34	27	43	42	15
<i>Ячмень, опыт № 3</i>							
1,0 Нг	$^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$	—	—	—	50	24	26
	$\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	—	—	—	46	20	34
	$^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	—	—	—	48	22	30
	$(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	—	—	—	49	29	22
	$\text{Ca}(^{15}\text{NO}_3)_2$	—	—	—	56	15	30
<i>Цветная капуста, опыт № 5</i>							
1/4 Нг	$^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$	58	22	21	62	23	15
	$\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	57	7	36	64	10	26
1,0 Нг	$^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	57	14	28	63	16	20
	$^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$	62	21	17	70	20	10
	$\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	58	13	29	75	11	14
	$^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	60	17	23	72	16	12
<i>Цветная капуста, опыт № 9</i>							
1,0 Нг	$^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$	61	26	13	63	24	13
	$\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	63	16	21	68	13	19
	$^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$	62	21	17	66	18	16
	$(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	48	23	29	50	24	26

Баланс в почве азота аммиачной селитры при выращивании овса и ячменя
(% от внесенного, вегетационные опыты, серая лесная малопродуктивная почва)

Доза N, мг/кг почвы	Овес, опыт № 16			Гречиха, опыт № 17		
	использовано растениями	осталось в почве	потери	использовано растениями	осталось в почве	потери
20	51	30	19	39	24	37
50	40	28	32	40	24	36
100	46	18	36	47	35	18
200	56	19	25	44	27	29

На дерново-подзолистой почве баланс азота аммиачной селитры, внесенной под зерновые (ячмень), отличается от такового в опытах с овощными и бобовыми культурами меньшим использованием растениями и большей иммобилизацией. Во всех случаях при практически одинаковых коэффициентах использования растениями двух форм вносимого азота размеры закрепления в почве аммонийного азота как аммиачной селитры, так и других аммонийных удобрений были больше, а потери меньше (в 1,5—2 раза) по сравнению с нитратным азотом удобрений (см. табл. 6).

Сравнение абсолютных количеств закрепившегося в почве меченого азота удобрений с размерами дополнительно мобилизованного для питания растений азота почвы при внесении азотных удобрений, т.е. «экстра-азота» (см. табл. 2, 3 и 6), показало, что выращивание ячменя в условиях вегетационных опытов с внесением аммиачной селитры способствовало меньшему обеднению почвы азотом, так как размеры иммобилизации азота удобрений были примерно равны количеству «экстра-азота». При выращивании цветной капусты внесение минерального азота больше обедняло почву этим элементом, так как дополнительное усвоение из почвы «экстра-азота» далеко не полностью компенсировалось иммобилизованным азотом удобрений. Это связано с тем,

что размеры закрепления азота под цветной капустой, как уже упоминалось, были значительно меньшими по сравнению с зерновыми (см. табл. 6 и 7). Следовательно, вопрос об итоговом обеднении или обогащении почв азотом при внесении минеральных азотных удобрений должен решаться конкретно в зависимости от особенностей определенных культур, видов азотных удобрений, известкования почвы и других условий, влияющих на складывающийся баланс в почве азота удобрений и размеры поглощения «экстра-азота». В этих расчетах необходимо принимать во внимание общие размеры потребления культурами азота почвы, а также увеличение потерь почвенного азота в результате нитрификации и последующей денитрификации, а также вымывания [7, 9].

Тип почвы меньше других факторов влиял на показатели складывающегося баланса вносимого азота аммиачной селитры (см. табл. 6 и 7).

Применение молибдена в большинстве случаев (см. табл. 6) существенно не влияло на уровень иммобилизации внесенного как аммонийного, так и нитратного азота удобрений, но за счет лучшего использования вносимого азота растениями цветной капусты и ячменя при применении этого микроэлемента значительно (в 1,5—2 раза) снижались газообразные потери как $N-NH_4^+$, так и особенно $N-NO_3^-$ удобрений. Несмотря на то,

что в литературе имеются данные о вхождении молибдена в состав фермента — диссимиляционной нитратредуктазы [15, 16], осуществляющей процессы денитрификации азота в почве, — усиления этого процесса в наших опытах при внесении молибдена не отмечалось.

Степень известкования почвы, в свою очередь, влияла на отдельные статьи баланса вносимого в нее аммонийного и нитратного азота удобрений. При выращивании ячменя в вариантах без внесения молибдена увеличение нормы извести способствовало снижению уровня иммобилизации в почве меченого азота удобрений, в результате чего возрастали его газообразные потери. В опытах с цветной капустой известкование, наоборот, во всех случаях приводило к уменьшению газообразных потерь как аммонийного, так и нитратного азота удобрений, в основном за счет более полного их использования растениями.

Заключение

Конечные коэффициенты использования растениями аммонийного и ни-

тратного азота, внесенного в почву с начала вегетации растений, практически одинаковы, в то время как количество иммобилизованного аммонийного азота удобрений больше, а потери меньше, чем нитратного азота. Применение извести и молибдена способствует более полному использованию опытными культурами азота удобрений и почвы. При внесении молибдена существенно снижаются потери из почвы аммонийного и особенно нитратного азота.

При приближении сроков внесения азотных удобрений к периоду максимального потребления этого элемента питания растениями увеличиваются (до 70–80% и более) реальные конечные коэффициенты их использования. При проведении корневых и некорневых подкормок на более поздних стадиях онтогенеза растений количество использованного ими азота заметно снижается. Во всех случаях растения используют азот корневых подкормок более эффективно по сравнению с некорневым его внесением. В случае корневых подкормок растения полнее используют вносимый нитратный азот по сравнению с аммонийным.

Библиографический список

1. Верниченко И.В. Поглощение и скорость усвоения аммонийного и нитратного азота цветной капустой при корневом и некорневом внесении // Сб. Вопросы агрохимии азота. М.: ТСХА, 1982. С. 73-79.
2. Верниченко И.В. Ассимиляция различных форм азота растениями и роль микроэлементов: Автореф. докт. дис. М.: ТСХА, 2002.
3. Верниченко И.В. Эндогенное образование нитратов в растениях // Агрохимия, 2002. № 4. С. 73-85.
4. Верниченко И.В., Верниченко Л.Ю., Муравин Э.А., Плешков Б.П. Использование ячменем аммиачного и нитратного азота удобрений в зависимости от условий их применения // Известия ТСХА, 1976. Вып. 3. С. 88-99.
5. Верниченко И.В., Верниченко Л.Ю., Муравин Э.А., Плешков Б.П. Ассимиляция растениями поглощенного аммонийного и нитратного азота аммиачной селитры (опыты с ^{15}N) // Известия ТСХА, 1976. Вып. 5. С. 64-75.
6. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989.
7. Кидин В.В. Трансформация, состав потерь и баланс азота удобрений в системе почва-растение: Автореф. докт. дис. М.: МСХА, 1993.
8. Кидин В.В. Особенности питания и удобрения сельскохозяйственных культур. М.: Изд-во РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева, 2009.
9. Кореньков Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. М.: Агропрогресс, 1999.
10. Кудеяров В.Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений. М.: Наука, 1989.

11. *Львов Н.П.* Молибден в ассимиляции азота у растений и микроорганизмов. 43-е Баховское чтение. М.: Наука, 1989.
12. *Муравин Э.А.* Вопросы азотного питания растений и повышения эффективности азотных удобрений: Автореф. док. дис. М.: ТСХА, 1991.
13. *Муравин Э.А., Верниченко И.В.* Использование цветной капустой азота удобрений и почвы в зависимости от дозы извести и обеспеченности молибденом // Докл. ТСХА. Вып. 198, 1974. С. 41-47.
14. *Муравин Э.А., Верниченко И.В., Жигарева Т.Л.* Использование цветной капустой азота почвы и удобрения; баланс аммонийного и нитратного азота аммиачной селитры при известковании и внесении молибдена // Известия ТСХА, 1981. Вып. 1. С. 54-66.
15. *Муравин Э.А., Верниченко И.В., Журавлёва С.В.* Использование цветной капустой азота подкормок в период максимального потребления элементов минерального питания // Известия ТСХА, 1981. Вып. 2. С. 92—101.
16. *Назарюк В.М.* Баланс и трансформация азота в агроэкосистемах. Новосибирск: СО РАН, 2002.
17. *Прянишников Д.Н.* Азот в жизни растений и земледелии СССР. М.: АН СССР, 1945.
18. *Семенов М.В.* Слагаемые эффективности азотных удобрений в системе почва-растение и критерии их количественной оценки // Агрохимия, 1999. № 5. С. 25-32.
19. *Смирнов П.М.* Вопросы агрохимии азота (в исследованиях с ¹⁵N). М.: ТСХА, 1982.
20. *Турчин Ф.В.* Азотное питание растений и применение удобрений (Избр. труды). М.: Колос, 1972.
21. *Юдин Ф.А.* Методика агрохимических исследований. М.: Колос, 1980.
22. *Ягодин Б.А., Верниченко И.В.* Возможность окисления аммонийного азота в тканях растений до нитратов (опыты с ¹⁵N) // Известия АН СССР. Сер. Биологическая, 1984. № 2. С. 266-272.
23. *Ягодин Б.А., Верниченко И.В., Дхиллон К.С.* Усвоение растениями аммонийного и нитратного азота удобрений в зависимости от обеспеченности микроэлементами / Вопросы агрохимии азота. М.: ТСХА, 1982. С. 3-8.
24. *Berez K., Debreceni K., Presing M.* Studies on nitrogen cycle infield and model experiments with winter wheat // Commun. Soil. Sci. and Plant Anal. 1998. V. 29. № 1114.
25. *Dhillon K.S., Yagodeen B.A., Vernichenko I.V.* Uptake and assimilation of nitrate and ammonium ions by tomato plants deficient in various micronutrients // Plant and Soil, 1984. № 1. P. 23-32.
26. *Janzen H.H., Beanchemin A.K., Bruinsma Y.* The fate of nitrogen in agroecosystem an illustration using Canadian estimates // Nutrient Cycl. Agroecosyst, 2003. V. 67. № 1. P. 85-102.
27. *Williams P.H., Roivarth I.S., Tregurtha R.J.* Recovery of ¹⁵N -labeled fertilizer by perennial ryegrass seed crop and subsequent wheat crop // Nutrient Cycl. Agroecosyst, 2000. V. 64. № 2. P. 117-123.

Рецензент, — д. с.-х. н. В. А. Черников

SUMMARY

Various conditions influence on final coefficients of some crops use and balance, in both sod-podzol and grey forest soils, nitrogen fertilizers applied, have been studied in the article.

Key words: ¹⁵N-labeled fertilizers, ammonia and nitrate nitrogen, factors of use by crops, nitrogen balance in soil, liming, molybdenum (Mo).

Верниченко Игорь Васильевич — д. б. н. Тел. 976-16-23.
Эл. почта: i.vernichenko@gmail.com