ТРАНСФОРМАЦИЯ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА В РАЗНЫХ ГОРИЗОНТАХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

В.В. Кидин, д.б.н., Е.О. Гущина, к.б.н,. В.В. Зенкина, РГАУ-МСХА

Применение стабильного изотопа ^{15}N на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве позволило установить закономерности потребления аммонийного и нитратного азота кормовой свеклой, размер его иммобилизации и потерь в зависимости от пространственного расположения в почвенном профиле.

Ключевые слова: *почва, аммонийный и нитратный азот, свёкла, коэффициент использования азота, трансформация азота.*

Количественная и качественная оценка содержания минерального азота в почве и использования его сельскохозяйственными растениями дает возможность более точно определить оптимальные дозы азотных удобрений и скорректировать сроки их внесения с учетом погодных условий, предшественника, плодородия почвы и планируемой урожайности.

Особенно важным в почвенной диагностике остается вопрос о доступности растениям аммонийного и нитратного азота почвы из разных горизонтов, о преимущественном использовании растениями разных форм минерального азота почвы, о сроках и глубине отбора образцов [1-12].

По нашему мнению, причина противоречивых результатов заключается, вероятно, в том, что лабильное соотношение аммонийной и нитратной форм азота в почве, вызванное постоянно протекающими в ней процессами аммонификации, нитрификации и денитрификации, а также неодинаковая их доступность растениям из разных горизонтов почвы делают в методическом аспекте невозможным определение реальных коэффициентов использования разных форм азота почвы без применения стабильного изотопа.

Задачей настоящей работы было изучение с помощью стабильного изотопа ^{15}N путей трансформации аммонийного и нитратного азота в разных горизонтах дерново-подзолистой почвы и размера его потребления кормовой свеклой в зависимости от глубины расположения в почвенном профиле.

Методика. Исследования проводили на дерново-подзолистой среднесуглинистой хорошо окультуренной почве полевой опытной станции РГАУ-МСХА в мелкоделяночных опытах, которые размещали непосредственно в хозяйственных посевах кормовой свеклы Тимирязевская 87 на площади 0,4-0,6 га. Опыты проводили в 4-кратной повторности с соблюдением общепринятой для Московской области технологии возделывания свеклы. Агрохимический анализ почвы (табл. 1) проводили в соответствии с общепринятыми в агрохимической службе методами.

1. Агрохимическая характеристика профиля дерново-подзолистой почвы

Глубина слоя почвы, см	pH $_{KCl}$	N общ. мг/100 г	$H_г$ мг-экв/100 г	S мг-экв/100 г	P_2O_5 мг/кг	K_2O мг/кг	$N_{мин.}$ перед посевом свеклы, мг/кг	Плотность почвы, г/см^3
0-20	6,6	121	0,8	10,3	225	240	16	1,27
20-40	6,4	75	1,1	6,5	180	220	12	1,45
40-60	6,1	52	1,5	7,2	147	185	7	1,52
60-80	5,8	28	1,3	6,9	78	110	6	1,53
80-100	5,4	21	2,1	6,0	65	87	7	1,55

Содержание минерального азота в почве (аммонийного и нитратного) определяли ежегодно перед закладкой опытов послойно через каждые 20 см до глубины 100 см. Для изучения размера использования растениями минерального азота, содержащегося перед посевом кормовой свеклы в различных почвенных горизонтах (слоях), его метили небольшим количеством стабильного изотопа ^{15}N путем локального внесения на глубину 10, 30, 50, 70 и 90 см (в середину каждого из 5 слоев почвы: 0-20 см, 20-40, 40-60, 60-80 и 80-100 см) раствора сульфата аммония – $(^{15}NH_4)_2SO_4$ или натриевой селитры – $Na^{15}NO_3$ с высоким обогащением ^{15}N (95-97 атом. %) из расчета 10 кг/га ^{15}N-NH_4 и ^{15}N-NO_3, что составляло в среднем 7% от содержания минерального азота в метровом корнеобитаемом слое почвы. С этой целью на каждой делянке свеклой площадью 4,2 м^2 с помощью металлического стержня диаметром 8 мм делали 49 отверстий на 1 м^2, расположенных для равномерного распределения метки в шахматном порядке на расстоянии 14 см, и на дно каждого отверстия с помощью шприца-дозатора и пластиковой удлинительной трубки вносили по 5 см^3 раствора $(^{15}NH_4)_2SO_4$ или $(Na^{15}NO_3)$ необходимой концентрации, после чего отверстия засыпали почвой соответствующего слоя и уплотняли. В качестве общего фона применяли азотные и фосфорно-калийные удобрения в дозе $N_{140}P_{120}K_{160}$. Фосфорные и калийные удобрения ($P_{дв}$ и K_x) вносили осенью под вспашку зяби, азотные (N_{aa}) – весной под культивацию перед посевом свеклы. Для анализа изотопного состава азота почвенные и растительные образцы отбирали из среднего рядка (ширина 0,7 м, длина 2 м), а два крайних служили в качестве защитных полос. Минеральный азот почвы (аммонийный и нитратный) экстрагировали 0,1 н KCl с последующим его определением в щелочной среде по Деварду. Для определения размера иммобилизации внесенного меченого азота, после уборки растений ежегодно проводили отбор почвенных образцов из горизонтов (слоев) 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 и 80-100 см. Содержание общего азота в почве и растениях определяли методом мокрого озоления по Кьельдалю-Иодельбауэру. Анализ изотопного состава азота проводили на масс-спектрометре МИ-1201В в лаборатории азотных удобрений ВНИИА. Избыток содержания ^{15}N в азоте почвы или растений находили по разности между обогащением ^{15}N образца и естественным природным содержанием ^{15}N (0,367 атом. %). Коэффициент использования минерального азота свеклой и размер закрепления его в почве рассчитывали исходя из общего содержания азота и избытка атомного процента ^{15}N в растениях и почве.

Результаты и их обсуждение. Внесение в разные слои почвенного профиля небольшой дозы азота (из расчета 10 кг/га) меченных ^{15}N сульфата аммония и натриевой селитры по фону $N_{140}P_{120}K_{160}$ практически не оказало достоверного влияния на урожай кормовой свеклы (табл. 2 и 3).

2. Урожай кормовой свеклы в среднем за 3 года (внесено: 1 – $(^{15}NH_4)_2SO_4$; 2 – $Na^{15}NO_3$)

Внесение $^{15}N_{10}$ в слой (см) почвы по фону	Сырая масса корнеплодов				Сырая масса ботвы			
	кг/ делянку		ц/га		кг/ делянку		ц/га	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1.Фон – $N_{140}P_{120}K_{160}$	25,3		602		8,7		207	
2. 0-20	25,8	26,0	614	620	8,9	9,3	212	222
3. 20-40	26,7	27,6	635	646	9,1	10,0	217	237
4. 40-60	26,2	26,6	625	633	8,4	9,4	201	223
5. 60-80	25,2	25,6	602	614	8,8	9,1	210	215
6. 80-100	25,5	25,2	610	601	9,2	9,0	219	212
$НСР_{05}$	2,1	2,2	49	43	1,1	1,2	28	30

3. Урожай сухой массы кормовой свеклы и вынос азота в среднем за 3 года (внесено: 1 – $(^{15}NH_4)_2SO_4$; 2 – $Na^{15}NO_3$)

Внесение ^{15}N в слой (см) почвы по фону	Корнеплоды				Ботва				Вынос азота растениями, г/делянку			
	масса кг/делянку		общий азот, %		Масса кг/делянку		общий азот, %		Всего		^{15}N	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1.Фон $N_{140}P_{120}K_{160}$	3,16		1,41		1,25		2,79		79,4			
2. 0-20	3,23	3,26	1,47	1,45	1,27	1,33	2,83	2,90	83,4	85,8	1,28	1,44
3. 20-40	3,33	3,35	1,53	1,52	1,30	1,40	2,88	2,84	88,3	90,5	1,72	1,79
4. 40-60	3,31	3,32	1,51	1,46	1,29	1,34	2,91	2,86	87,5	86,8	1,65	1,72
5. 60-80	3,15	3,20	1,40	1,44	1,26	1,30	2,84	2,87	79,7	83,3	1,12	1,04
6. 80-100	3,19	3,16	1,41	1,47	1,28	1,24	2,83	2,84	81,2	81,7	0,64	0,48
$НСР_{05}$	0,26	0,28	0,11	0,10	0,15	0,18	0,13	0,15				

Достоверная прибавка урожая сухой массы корнеплодов от внесения 10 кг/га меченого азота до посева отмечена лишь в варианте с внесением сульфата аммония в слой почвы 20-40 см по сравнению с контролем (фоном).

Общий вынос азота растениями во всех вариантах опыта был довольно близким. Увеличение выноса общего азота свеклой как при внесении 10 кг/га азота меченого сульфата аммония, так и натриевой селитры по сравнению с контролем наблюдалось лишь из подпахотного слоя 20-40 см. Несмотря на недостоверность прибавок урожая и выноса азота кормовой свеклой в других вариантах опыта, в них четко просматривается тенденция снижения урожая и выноса общего азота растениями при внесении меченного ^{15}N сульфата аммония и натриевой селитры в нижние слои почвенного профиля по сравнению с пахотным и ближайшим подпахотным слоем.

На основании выноса общего азота растениями и его изотопного состава определены размеры потребления кормовой свеклой аммонийного и нитратного азота из разных слоев дерново-подзолистой почвы. Использование растениями минерального азота, содержащегося перед посевом свеклы в разных горизонтах, в значительной мере зависит от глубины его расположения в почвенном профиле. Наиболее высокий размер потребления свеклой меченного ^{15}N аммонийного и нитратного азота почвы наблюдался из подпахотных горизонтов 20-40 и 40-60 см, что обусловливается, по-видимому, особенностями морфологического строения ее корневой системы.

Вынос минерального азота почвы растениями из более глубоких горизонтов находился в обратной зависимости от глубины его расположения. Минеральный азот нижележащих слоев почвы был менее доступен растениям. В среднем за 3 года использование кормовой свеклой, содержащегося перед посевом аммонийного и нитратного азота почвы из пахотного (0-20 см) и подпахотного (20-60 см) горизонтов было, соответственно, в 2-2,6 и 3-3,7 раза выше, чем из слоя почвы 80-100 см.

Использование минерального азота растениями зависело в большей мере от глубины его пространственного расположения в корнеобитаемом слое почвы и в меньшей степени от формы азота. Наиболее высокие коэффициенты использования растениями минерального азота характерны для пахотного и ближайшего подпахотного слоев, для более глубоких горизонтов они были значительно ниже (табл. 4).

4. Баланс меченного ^{15}N аммонийного(1) и нитратного (2) азота почвы (в среднем за 3 года)

Внесение ^{15}N в слой почвы (см) по фону $N_{140}P_{120}K_{160}$	Коэффициенты использования минерального азота почвы свеклой		Закрепилось в почве		Дефицит азота	
	1	2	1	2	1	2
0-20	32	36	38	33	30	31
20-40	43	45	30	26	27	29
40-60	41	43	22	17	37	40
60-80	28	26	18	11	54	63
80-100	16	12	14	9	70	79
0-100	31	33	24	19	45	48

В среднем за 3 года коэффициент использования растениями содержащегося перед посевом в пахотном горизонте почвы нитратного азота был на 4% выше, чем аммонийного. Коэффициенты использования растениями аммонийного и нитратного азота из подпахотных слоев почвы 20-40 и 40-60 см были близкими. Размеры использования минерального азота кормовой свеклой из более глубоких слоев почвы – 60-80 и 80-100 см были в 1,5-3,7 раза ниже, чем из пахотного и ближайших подпахотных горизонтов почвы.

Более высокие коэффициенты использования почвенного минерального азота растениями из слоя почвы 20-60 см по сравнению с верхним слоем почвы (0-20 см) и глубокими подпахотными слоями обусловлены, вероятно, преимущественным расположением корневой системы кормовой свеклы в этих слоях почвы и слабой миграцией в весенний период минерального азота из нижних горизонтов почвы вверх по профилю.

Коэффициенты использования нитратного азота из пахотного (0-20 см) и подпахотного горизонтов (20-60 см) почвы были несколько выше, аммонийного. Из более глубоких горизонтов почвы (60-100 см) кормовая свекла, напротив, лучше использовала аммонийный азот, чем нитратный, что может быть связано с сохранением аммонийного азота в почве в поглощенном состоянии и последующим использованием его растениями по мере их роста и развития. Более низкие коэффициенты использования нитратного азота, содержащегося в глубоких слоях почвы, обусловлены, вероятно, значительными его потерями в результате денитрификации и вымывания нитратов за пределы корнеобитаемого слоя в весенний период. В целом, коэффициенты использования, содержащегося перед посевом в слое 0-60 см аммонийного и нитратного азота почвы были довольно близкими.

Установленные с помощью изотопного метода коэффициенты использования растениями аммония и нитратов из отдельных горизонтов почвы позволили определить средневзвешенный вынос азота растениями с учетом содержания $^{15}N\text{-}NH_4$ и $^{15}N\text{-}NO_3$ в каждом слое. Несмотря на существенные колебания погодных условий, урожайности и содержания аммонийного и нитратного азота в разных слоях почвенного профиля, в среднем за 3 года из 136 кг/га минерального азота, содержащегося перед посевом в корнеобитаемом слое почвы (0-100 см), кормовая свекла использовала примерно 1/3. При этом более 2/3 выноса растениями азота почвы приходится на слой почвы 0-60 см.

Следует отметить, что до настоящего времени почвенная диагностика минерального питания сельскохозяйственных культур проводится без дифференцированного учета доступности отдельных элементов питания из разных горизонтов почвы. Полученные нами экспериментальные данные позволяют сделать заключение, что сложившееся в агрохимической практике мнение об идентичности путей трансформации и доступности растениям минерального азота почвы и удобрений справедливо лишь в пределах одного и того же пахотного слоя. Превращение минерального азота в подпахотных горизонтах по сравнению с пахотным имеет свои особенности, которые следует учитывать при проведении диагностики азотного питания, разработке системы применения удобрений и мероприятий по охране окружающей среды.

Наряду с использованием минерального азота из разных горизонтов почвы растениями, часть его (9-38%) закреплялась в органическом веществе почвы и значительная часть

(27-79%) терялась в процессе вымывания нитратов и денитрификации. Наибольшее закрепление минерального азота почвы происходило в слое 0-20 и 20-40 см. В среднем за 3 года около 38% аммонийного и 33% нитратного азота, содержащегося перед посевом свеклы в пахотном горизонте почвы, и, соответственно, 30 и 26% минерального азота подпахотного слоя закреплялось в почве. Размер иммобилизации аммонийного и нитратного азота более глубоких слоев почвы был значительно ниже и составлял, соответственно, для отдельных слоев почвы 40-60 см – 22 и 17%, 60-80 см – 18 и 11% и 80-100 см – 14 и 9%. Средневзвешенный размер закрепления в корнеобитаемом слое (0-100 см) почвы аммонийного азота составил 24%, нитратного – 19%.

Применение стабильного изотопа ^{15}N позволило также установить существенное различие в потерях минерального азота из разных горизонтов почвы. Потери аммонийного азота из всех горизонтов почвы были ниже, чем нитратного, и составляли из пахотного слоя соответственно 30 и 31%, подпахотного (40-60 см) – 37 и 40%, а из слоя 80-100 см они увеличивались до 70 и 79% от содержания $^{15}N\text{-}NH_4$ и $^{15}N\text{-}NO_3$ в данных горизонтах перед посевом. Суммарные потери аммонийного азота из пахотного и подпахотных горизонтов (0-100 см), с учетом потерь минерального азота из каждого слоя почвы, составляли 45% и 48% нитратного.

Вывод. Внесение перед посевом на различную глубину почвенного профиля $(^{15}NH_4)_2SO_4$ и $Na^{15}NO_3$ в качестве метки содержащегося в почве аммонийного и нитратного азота позволяет определить особенности внутрипочвенной трансформации минерального азота в отдельных горизонтах и размер текущей минерализации азота почвы в течение вегетации.

Литература

1. Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири. М.: Наука, 1981, 265 с. 2. Гущина Е.О. Использование кормовой свеклой аммонийного и нитратного азота из разных слоев дерново-подзолистой почвы: Автореф. дис. канд. биол. наук М.: МСХА. 1999. 18 с. 3. Кидин В.В., Ионова О.И. Динамика потребления аммонийного нитратного растениями из разных горизонтов почвы. Агрохимия. 1992. № 11. С. 3-15. 4. Акулов Г.П., Лукин С.В. Потребление сахарной свеклой нитратного азота, мигрировавшего на разные глубины почвенного профиля // Почвоведение. 1996. № 11. С. 1385-1388. 5. Корчагина Ю.И., Шафран С.А. Азотный режим почв Нечерноземья // Химизация сел. хоз-ва. 1988. С. 28-32. 6. Прянишников Д.Н. Аммиак, нитраты и нитриты как источник азота для высших растений. Из результатов вегетационных опытов. Т. 13. М., 1926. С. 5-16. 7. Кидин В.В., Ильюк Е.Н. Использование растениями и особенности трансформации аммонийного и нитратного азота в разных горизонтах дерново-подзолистой почвы. Агрохимия. 2006. № 11. С. 3-9. 8.Лаврова И.А., Овсянников А.В. Эффективность азотных удобрений в зависимости от глубины внесения в опытах с яровой пшеницей на лугово-черноземных почвах. Агрохимия, 1995. № 12. С. 57-62. 9. Никитишен В.И. Факторы, обусловливающие последействие азотных и фосфорных удобрений. Плодородие. 2004. № 2. С. 18-21. 10. Кореньков Д.А., Руделёв Е.В., Кузнецов А.В. Использование растениями азота удобрений, внесенных на разную глубину. Почвоведение, 1986, № 2, С. 53-68. 11. Paul E.A., Clark F.E. Soil microbiology and biochemistry. Academic Press, Inc., San Diego, USA, London, UK. 1999. 275 p. 12. Мальцев В.Т. Формирование урожая яровой пшеницы и использование азота удобрений (^{15}N) в зависимости от глубины их размещения, Агрохимия. 1988. № 8. С. 3-7.

Transformation of mineral nitrogen in different horizons of soddy-podzolic soil

V.V. Kidin, E.O. Gushchina, V.V. Zenkina

Russian State Agricultural University–Moscow Agricultural Academy, ul. Timiryazevskaya 49, Moscow, 127550 Russia

Summary. Using the ^{15}N stable isotope as an artificial label in a small-plot field experiment on a well-cultivated loamy soddy-podzolic soil for studying the transformation of ammonium and nitrate soil nitrogen, the consumption of different mineral nitrogen forms by stock beet was studied and the nitrogen immobilization and loss depending on the spatial distribution in the soil profile were determined.

Key words: soil, ammonium and nitrate nitrogen, beet, nutritive efficiency, nitrogen transformation