

УДК 631.811.1:633.32.24:632.125

ПОТОКИ И БАЛАНС АЗОТА УДОБРЕНИЯ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД МНОГОЛЕТНИЕ БОБОВО-ЗЛАКОВЫЕ ТРАВЫ НА СКЛОНЕ (3-я РОТАЦИЯ С ^{15}N)

Нина Яковлевна Шмырева¹, Алексей Анатольевич Завалин²,
Олег Алексеевич Соколов³, Владимир Анатольевич Литвинский⁴

Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова
127550, Москва, ул. Прянишникова, д. 31а

¹ – к. б. н., в. н. с.

² – академик РАН, д. с.-х. н., зав. лабораторией минерального и биологического азота

³ – д. б. н., гл. н. с.

⁴ – к. б. н., руководитель группы спектроскопии

*В условиях дерново-подзолистой эродированной почвы многолетние бобово-злаковые травы – клевер (*Trifolium pratense* L.), тимофеевка (*Phleum pratense* L.) – снижали потребление азота удобрения на 6–16%, азота почвы на 19–30% и симбиотического азота на 36–39% в нижней части склона по сравнению с приводораздельной его частью. При этом иммобилизация азота удобрения в почве уменьшалась и его газообразные потери увеличивались. Локализация азотных удобрений повышала потребление азота удобрения на 72–94%, азота почвы на 20–30%, и симбиотического азота на 31–34%. При локальном внесении азотных удобрений иммобилизация азота усиливалась в 1,2–1,4 раза и газообразные потери азота уменьшались в 2,1–2,7 раза по сравнению с разбросным способом их применения. При локальном внесении азотных удобрений повышалась продуктивность трав на 35–39% по сравнению с фоном и на 15–18% по сравнению с разбросным способом их внесения. Локализация удобрений повышала содержание сырого белка в сене трав на 40–42% по сравнению с фоном и на 21–25% по отношению к разбросному их внесению. При этом содержание NO_3^- в сене снижалось на 7–12%.*

Ключевые слова: изотоп азота ^{15}N , потоки и баланс азота, севооборот, элемент склона, симбиотический азот, локальное внесение удобрения, иммобилизация, газообразные потери азота.

Многолетним бобово-злаковым травам принадлежит ведущая роль в эрозионном агроландшафте, поскольку они не только сохраняют и повышают плодородие почвы, но и предотвращают потери элементов питания при поверхностном смыве почвы [1–3]. Азот минеральных удобрений, азот почвы и симбиотический азот, участвуя в продукционном процессе, изменяют устойчивость агрофитоценоза трав на склоне [4, 5]. Однако поведение (трансформация) азота упомянутых источников в агрофитоценозе многолетних бобово-злаковых трав при длительном их выращивании практически не изучалась.

Цель исследований – определить потоки и баланс азота удобрения при выращивании многолетних бобово-злаковых трав в 3-й ротации севооборота на эродированной дерново-подзолистой почве.

Методика. ГТК за период вегетации многолетних бобово-злаковых трав (*Trifolium pratense* L., *Phleum pratense* L.) 1-го года пользования в 2014 г. составил 1,7 при среднемноголетнем значении 1,8. За вегетационный период наименьшее количество осадков выпало в апреле, а наибольшее – в мае, при этом температура воздуха была выше в

1,1–1,2 раза по сравнению со среднемноголетней. Более подробно методика проведения исследований опубликована ранее [6].

Результаты и обсуждение. В структуре азота, потребляемого бобово-злаковыми травами, азот удобрения составляет 7–13%, азот почвы – 18–30% и атмосферный азот – 63–69% от общего его количества [5].

Потребление азота растениями в 3-й ротации севооборота зависело от элемента склона и способа внесения азотного удобрения (табл. 1). В нижней части склона потребление растениями азота удобрения снижалось на 6–16%, азота почвы – на 19–30% и симбиотического азота – на 36–39% по сравнению с приводораздельной его частью при разбросном и локальном внесении азотных удобрений. Азотные удобрения, внесенные локально, повышали потребление азота удобрения растениями на 94%, азота почвы – на 30% и симбиотического азота – на 31% в приводораздельной части склона, на 72, 20, 34% в нижней части склона, соответственно, по сравнению с разбросным их применением. Локальное внесение азотных удобрений в дозе N30 способствовало увеличению усвоения дополнительного количества азота

1. Потребление азота удобрения, азота почвы и атмосферного азота многолетними бобово-злаковыми травами 1-го года пользования в 3-й ротации севооборота на различных элементах склона в зависимости от способа внесения азотного удобрения

Вариант опыта	Вынос азота, г/м ²	N удобрения		N почвы		N симбиотический, г/м ²
		г/м ²	КИАУ*, %	г/м ²	«Экстра-азот», г/м ²	
Приводораздельная часть склона, 2–3°						
P50K50 – фон	9,56	–	–	1,12	–	8,44
Фон + ¹⁵ N30 вразброс	13,02	0,68	22,6	1,44	0,32	10,90
Фон + ¹⁵ N30 локально	17,50	1,32	43,8	1,88	0,76	14,30
Нижняя часть склона, 5–7°						
P50K50 – фон	5,95	–	–	0,78	–	5,17
Фон + ¹⁵ N30 вразброс	8,67	0,64	21,2	1,17	0,39	6,86
Фон + ¹⁵ N30 локально	11,66	1,10	36,6	1,40	0,62	9,16

* КИАУ – коэффициент использования азота удобрений

почвы («экстра-азота») по сравнению с разбросным способом внесения в 2,4 раза на приводораздельной части склона и в 1,6 раза в нижней части склона.

При выращивании многолетних бобово-злаковых трав на равнинных участках баланс азотного удобрения складывался следующим образом: использовалось растениями 21–35%, закреплялось в почве 10–48% и терялось в виде газообразных соединений 12–38% от применяемой дозы [7]. Использование азота удобрения травами и иммобилизация его в почве снижались, а газообразные потери увеличивались от верхней к нижней части склона (табл. 2).

На приводораздельной части склона по параметрам плодородия, физическим и микробиологическим свойствам почвы складывались более благоприятные условия для роста растений [2, 3]. При локальном внесении азотного удобрения травы использовали его в 1,7–1,9 раза лучше, при этом больше его закреплялось (в 1,2–1,4 раза) и меньше (в 2,1–2,7 раза) терялось в виде газообразных соединений по сравнению с разбросным способом применения. Внесение возрастающих доз азотного удобрения (30–90 кг N/га) снижало азотфиксацию травами как на водоразделе, так и на склонах северной и южной экспозиции [8].

Снижение потребления азота растениями на нижней части склона приводило к падению продуктивности бобово-злаковых трав на 26–33% по сравнению с приводораздельной его частью (табл. 3). Наибольший урожай сена травы формировали при локальном применении азотных удобрений: в приводораздельной части склона на 35%, в нижней части склона на 39% по сравнению с фоном. Локализация азотных удобрений повышала продуктивность трав на 18% на приводораздельной части склона и на 15% по отношению к разбросному способу их применения.

Качество фитомассы бобово-злаковых трав зависит от состава травостоя и технологии выращивания [9, 10]. Содержание сырого белка в биомассе трав в нижней части склона снижалось на 8–12%, а нитратов, наоборот, повышалось на 8–13% по сравнению с приводораздельной частью склона (табл. 4). Наибольшее количество сырого белка в сене трав содержалось при локальном применении азотных удобрений: на 40% больше по сравнению с фоном на приводораздельной части склона и на 42% в нижней части склона. От локализации азотных удобрений содержание сырого белка в сене повышалось на 25 и 21% на верхней и нижней части склона, соответственно по сравнению с разбросным способом их применения.

2. Потоки и баланс азота удобрения при выращивании многолетних бобово-злаковых трав 1-го года пользования в 3-й ротации севооборота на различных элементах склона в зависимости от способа внесения азотного удобрения

Вариант опыта	Использовано растениями		Закреплено в 100 см слое почвы		Газообразные потери	
	1	2	1	2	1	2
Фон + ¹⁵ N30 вразброс	<u>0,68</u> 23	<u>0,64</u> 21	<u>1,03</u> 34	<u>0,85</u> 28	<u>1,29</u> 43	<u>1,51</u> 51
Фон + ¹⁵ N30 локально	<u>1,32</u> 44	<u>1,10</u> 37	<u>1,21</u> 40	<u>1,18</u> 39	<u>0,47</u> 16	<u>0,72</u> 24

Примечание: 1 – приводораздельная часть склона, 2–3°; 2 – нижняя часть склона, 5–7°. Числитель – азот удобрения, г/м², знаменатель – азот удобрения, % от применяемой дозы.

3. Продуктивность многолетних бобово-злаковых трав 1-го года пользования в 3-й ротации севооборота на различных элементах склона в зависимости от способа внесения азотного удобрения

Вариант опыта	Урожайность, г/м ²	Прибавка от азотного удобрения		Прибавка от локализации удобрения	
		г/м ²	%	г/м ²	%
Приводораздельная часть склона, 2–3°					
P50 K50 – фон	560	–	–	–	–
Фон + ¹⁵ N30 вразброс	640	80	14	–	–
Фон + ¹⁵ N30 локально	756	196	35	116	18
Нижняя часть склона, 5–7°					
P50 K50 – фон	422	–	–	–	–
Фон + ¹⁵ N30 вразброс	509	87	21	–	–
Фон + ¹⁵ N30 локально	586	164	39	77	15
<i>HCP_{0,05} для частных различий</i>	42				
<i>HCP_{0,05} для элементов склона</i>	24				
<i>HCP_{0,05} для способа внесения</i>	29				

Примечание: относительная ошибка опыта P = 3%

Содержание NO₃⁻ в сене трав под действием азотных удобрений повышалось на 17–26% в верхней части склона и на 18–32% в нижней его части (табл. 4). При локальном применении азотного удобрения содержание нитратов в сене снижалось на 7% в верхней части склона и на 12% в нижней части склона по сравнению с разбросным его применением. Таким образом, азот удобрения, внесенный локально, сдвигал направленность обмена веществ вследствие изменения аммонийно-нитратного статуса растений в сторону синтеза белков в биомассе трав за счет использования небелковых азотистых соединений [7].

Заключение. Таким образом, в условиях 3-й ротации севооборота на дерново-подзолистой эродированной почве потребление азота (удобрения, почвы, симбиотического) многолетними бобово-злаковыми травами (*Trifolium pratense* L., *Phleum pratense* L.) 1-го года пользования определялось рельефом местности и способом применения азотного удобрения, меченного ¹⁵N. В нижней части склона потребление азота удобрения растениями

уменьшалось на 6–16%, азота почвы на 19–30% и симбиотического азота на 36–39% по сравнению с приводораздельной частью при разбросном и локальном внесении азотных удобрений. При этом иммобилизация азота удобрения снижалась и его газообразные потери возрастали.

Локализация азотных удобрений повышала потребление азота удобрения на 72–94%, азота почвы на 20–30% и симбиотического азота на 31–34%. При локальном внесении азотных удобрений иммобилизация усиливалась в 1,2–1,4 раза и газообразные потери азота уменьшались в 2,1–2,7 раза по сравнению с разбросным способом их применения.

При локальном внесении азотных удобрений продуктивность трав повышалась на 35–39% по сравнению с фоном и на 15–18% по сравнению с разбросным способом их внесения. Локализация удобрений повышала содержание сырого белка в сене трав на 40–42% по сравнению с фоном и на 21–25% по отношению к разбросному их внесению. При этом содержание NO₃⁻ в сене снижалось на 7–12%.

4. Качество сена многолетних бобово-злаковых трав в 3-й ротации севооборота на различных элементах склона в зависимости от способа внесения азотного удобрения

Вариант опыта	Сырой белок, %	NO ₃ ⁻ , мг/кг
Приводораздельная часть склона, 2–3°		
P50 K50 – фон	16,4	103
Фон + ¹⁵ N30 вразброс	18,3	130
Фон + ¹⁵ N30 локально	22,9	121
Нижняя часть склона, 5–7°		
P50 K50 – фон	14,4	111
Фон + ¹⁵ N30 вразброс	16,8	147
Фон + ¹⁵ N30 локально	20,4	131

Литература:

1. Шмырева Н.Я., Соколов О.А., Цуриков Л.Н., Прохин Л.В. Баланс азота удобрений при выращивании бобово-злаковых трав на склоне // Плодородие. – 2011. – №3. – С.13–15.
2. Шмырева Н.Я., Соколов О.А., Цуриков Л.Н. Участие азота многолетних трав в формировании органического вещества дерново-подзолистой почвы // Плодородие. – 2012. – № 6. – С. 25–27.
3. Явтушенко В.Е., Цуриков Л.Н., Шмырева Н.Я. Использование азота многолетними бобово-злаковым травостоем из профиля дерново-подзолистой почвы в эрозионном рельефе // Агрохимия. – 2006. – № 1. – С. 55–61.
4. Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Показатели циклов азота и устойчивость агроэкосистем в условиях склона // Плодородие. – 2009. – №3. – С. 4–6.
5. Соколов О.А., Шмырева Н.Я., Цуриков Л.Н. Изменение параметров потоков симбиотического азота при выращивании многолетних трав на склонах // Плодородие. – 2010. – № 4. – С. 4–6.
6. Шмырева Н.Я., Соколов О.А., Носиков В.В. Особенности потребления азота зерновыми культурами и многолетними бобово-злаковыми травами в условиях севооборота на склоне (3-я ротация с ¹⁵N) // Проблемы агрохимии и экологии. – 2018. – №1. – С. 29–33.
7. Завалин А.А., Соколов О.А. Потоки азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней. – М., ВНИИА. – 2016. – 591 с.
8. Быстров А.В., Шмырева Н.Я. Влияние азотных удобрений на продуктивность травосмеси в условиях эрозионного ландшафта // Агрохимия. – 2002. – №6. – С. 82–90.
9. Плешков Б.П. Биохимия сельскохозяйственных растений. – М.: Агропромиздат, 1987. – 486 с.
10. Черников В.А., Соколов О.А. Экологически безопасная продукция. – М.: Колос. 2009. – 438 с.

Shmyreva N. I., Zavalin A. A., Sokolov O. A., Litvinsky V. A.

NITROGEN FLUXES AND BALANCE AT LONG-TERM APPLICATION OF NITROGEN FERTILIZERS UNDER PERENNIAL LEGUME-CEREAL GRASSES ON THE SLOPE (3RD ROTATION WITH ¹⁵N)

*In the conditions of eroded soddy-podzolic soil, perennial legume-cereal grasses (*Trifolium pratense* L., *Phleum pratense* L.) reduced the consumption of nitrogen of fertilizer by 6–16%, soil nitrogen by 19–30% and symbiotic nitrogen by 36–39% at the lower part of the slope compared to its drive-separate part. This reduced the immobilization fertilizer nitrogen in the soil and increased its gaseous losses. Localization of nitrogen fertilizers increased fertilizer nitrogen consumption by 72–94%, soil nitrogen by 20–30%, and symbiotic nitrogen by 31–34%. With local application of nitrogen fertilizers, nitrogen immobilization increased by 1.2–1.4 times and gaseous nitrogen losses decreased by 2.1–2.7 times compared to the scattered method of their use. With local application of nitrogen fertilizers, the productivity of grasses increased by 35–39% compared to the background and by 15–18% compared to the scattered method of their application. Localization of fertilizers increased the content of crude protein in the grass hay by 40–42% compared to the background and by 21–25% in relation to their scattered application. The content of NO_3^- in the hay decreased by 7–12%.*

Keywords: ¹⁵N isotope of nitrogen, nitrogen fluxes and balance, crop rotation, part of the slope, symbiotic nitrogen, local fertilizer application, immobilization, gaseous loss of nitrogen.