

Почвоведение

УДК 631.811.1:633.32.24:632.125

DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019436-38>ПОТРЕБЛЕНИЕ АЗОТА МНОГОЛЕТНИМИ БОБОВО-ЗЛАКОВЫМИ ТРАВАМИ ВТОРОГО ГОДА ЖИЗНИ (исследование с ^{15}N)

Н.Я. Шмырева, кандидат биологических наук,
А.А. Завалин, академик РАН, О.А. Соколов, доктор биологических наук,
В.А. Литвинский, кандидат биологических наук

Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова,
127434, Москва, ул. Прянишникова, 31А
E-mail: okcana79vniia@mail.ru

Показано, что на эродированной дерново-подзолистой почве приводораздельной части склона в третьей ротации севооборота потребление азота удобрения травами повышается на 20%, азота почвы – на 67%, симбиотического азота – на 23% по сравнению с нижней его частью. При этом снижается иммобилизация азота удобрения и возрастают его газообразные потери. Локализация азотного удобрения увеличивает потребление травами азота удобрения на 14%, азота почвы – на 7-10% и симбиотического азота – на 26-53% по сравнению с разбросным способом его применения. При локальном внесении азотного удобрения травы лучше (в 1,1-1,2 раза) используют азот удобрения, его больше (в 1,1-1,2 раза) закрепляется в почве и меньше (в 1,6-2,6 раза) теряется в виде газообразных соединений по сравнению с разбросным способом внесения. При этом повышается продуктивность трав на 6-11%, содержание сырого белка в фитомассе – на 0,3-1,1% и снижается количество нитратов на 7-16%.

THE CONSUMPTION OF NITROGEN OF PERENNIAL LEGUME-GRASS MIXTURE ON THE SECOND YEAR OF LIFE (study with ^{15}N)

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

Pryanishnikov - Institute of Agrochemistry,
127434, Moskva, ul. Pryanishnikova, 31a
E-mail: okcana79vniia@mail.ru

On the eroded sod-podzolic soil of the drive-separated part of the slope in the 3rd rotation of the crop rotation, the consumption of nitrogen fertilizer by herbs increases by 20%, soil nitrogen by 67%, and symbiotic nitrogen by 23% compared to its lower part. This reduces the immobilization of nitrogen fertilizer, and increase its gaseous losses. Localization of nitrogen fertilizer increases grass consumption of nitrogen fertilizer by 14%, soil nitrogen by 7-10% and symbiotic nitrogen by 26-53% compared to the scattered method of its application. With local application of nitrogen fertilizer grass better (1.1-1.2 times) use nitrogen fertilizer, it is more (1.1-1.2 times) is fixed in the soil and less (1.6-2.6 times) is lost in the form of gaseous compounds compared to the scattered method of its application. This increases the productivity of herbs by 6-11%, the content of raw protein in the phytomass by 0.3-1.1% and reduces the amount of nitrates by 7-16%.

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

Key words: isotope of nitrogen ^{15}N , nitrogen flows and balance, crop rotation, slope element, immobilization, mineralization, gaseous nitrogen losses, symbiotic nitrogen, local application of nitrogen fertilizer

В условиях эрозийного ландшафта многолетние бобово-злаковые травы выполняют важные экологические функции [1,2]. Травы первого и второго года жизни вследствие различного количественного состава агрофитоценоза играют неодинаковую роль в круговороте веществ агроэкосистемы [3-5], вместе с тем процессы минерализации – иммобилизации азота в почве под бобово-злаковыми травами разного возраста изучены недостаточно [6]. Различные виды трав используют неодинаковое количество азота удобрения: в одновидовом травостое клевер – 42-46%, тимофеевка – 36-66% применяемой дозы азота удобрения. В смешанном посеве многолетних злаковых трав (тимофеевка, костреч) растения потребляли 26-78% азота удобрения [3,6]. Иммобилизация и минерализация азота удобрения тесно связана с азотфиксацией бобового компонента трав, однако, она остается слабоизученной.

Цель работы – определить размеры потребления азота удобрения, азота почвы и симбиотического азота многолетними бобово-злаковыми травами второго года жизни в третьей ротации севооборота на эродированной дерново-подзолистой почве.

Методика. В 2000 г. в Смоленском научно-исследовательском институте сельского хозяйства на делянках длительного стационарного опыта в варианте (1N 1P 1K) в начале третьей ротации 5-польного севооборо-

та (1 – озимая рожь, 2 – овес, 3 – ячмень с подсевом травосмесей, 4 – травосмеси 1-го года жизни, 5 – травосмеси 2-го года жизни) был заложен микрополевой опыт с сульфатом аммония, обогащенным тяжелым изотопом азота ^{15}N (20 ат. %). Почва – дерново-подзолистая среднесуглинистая на карбонатом моренном султинке слабо- (приводораздельная часть склона 2-3⁰) и среднесмытая (нижняя часть склона 5-7⁰). Содержание физической глины составляет 32-34%. Агрохимическая характеристика пахотных слоев этих почв представлена следующими показателями: $\text{pH}_{\text{сол}}$ 5,7 и 6,1; Hг (По Каппену) – 1,18 и 0,8 ммоль/100г почвы, содержание обменных Ca^{2+} – 5,5 и 6,0 ммоль/100 г почвы и Mg^{2+} – 2,0 и 2,2 ммоль/100г почвы; гумуса – 2,1 и 0,8%; $\text{N}_{\text{обм}}$ – 0,09 и 0,07%; подвижного фосфора – 137 и 187 мг/кг почвы и обменного калия – 138 и 167 мг/кг почвы (по Кирсанову).

Микрополевой опыт (размер делянки – 0,5х1,0 м) размещен на склоне ЮВ экспозиции. Длина склона – 300 м, повторность – 4-кратная, с ^{15}N – 2-кратная. Ширина защитных полос между микроделянками – 0,5 м. Азотное удобрение ($\text{N}_{\text{д}}$) вносили в дозе 30 кг/га двумя способами: вразброс и локально на глубину 10 см лентой. Перед закладкой опыта проведено известкование из расчета полной нормы гидролитической кислотности.

Табл. 1. Потребление азота удобрения, азота почвы и симбиотического азота многолетними бобово-злаковыми травами в зависимости от элемента склона и способа внесения азотного удобрения

Вариант	Внос азота, г/м ²	N удобрения		N почвы		N симбиотический, г/м ²
		г/м ²	КИ-АУ*, %	г/м ²	экстра-азот, г/м ²	
Приводораздельная часть склона, 2-3⁰						
P ₃₀ K ₃₀ – фон	5,69			3,49		2,20
Фон + ¹⁵ N ₃₀ вразброс	11,45	1,46	48,6	5,91	2,42	4,08
Фон + ¹⁵ N ₃₀ локально	14,42	1,66	55,3	6,52	3,03	6,24
Нижняя часть склона, 5-7⁰						
P ₃₀ K ₃₀ – фон	3,77			2,31		1,46
Фон + ¹⁵ N ₃₀ вразброс	8,89	1,21	40,3	3,64	1,33	4,04
Фон + ¹⁵ N ₃₀ локально	10,35	1,38	46,0	3,89	1,58	5,08

* КИАУ – коэффициент использования азота удобрения.

Содержание общего азота в почвенных и растительных образцах определяли по методу Кьельдаля – Йольдбауэра, изотопный состав азота – на масс-спектрометре Delta Advantage (ФРГ).

Метеорологические условия для произрастания многолетних травосмесей 2-го года жизни в третьей ротации севооборота с ¹⁵N в 2015 г. были неблагоприятными. Гидротермический коэффициент (ГТК) составил 0,9 к среднемуголетнему 1,7. Сумма осадков составила 100 мм при норме 181 мм, а температура воздуха была выше в 1,0 раза по сравнению со средним многолетним значением.

Результаты и обсуждение. Особенность многолетних бобово-злаковых трав 2-го года жизни (2-го г.ж.): клевер луговой, тимофеевка луговая – существенное сокращение (в 2,6 раза) доли клевера вследствие его выпадения в осенне-зимне-весенний период, в результате в травосмеси уменьшается доля симбиотического азота и увеличивается доля азота удобрения и почвенного азота [4].

Потребление азота травами 2-го г.ж. в третьей ротации севооборота зависело от элемента склона и способа применения азотного удобрения (табл. 1). В засушливый 2015 г. травы использовали такое же количество азота удобрения и значительно меньше почвенного азота по сравнению с первой и второй ротациями. В приводораздельной части склона при локальном внесении азотного удобрения травы потребляли больше азота удобрения на 20%, азота почвы – на 67% и симбиотического азота – на 23%, чем в нижней части склона. Азотное удобрение, внесенное локально, повышало потребление растениями азота удобрения на 14%, азота почвы – на 7-10%, симбиотического азота – на 26-53% по сравнению с разбросным способом применения. Локализация азотного удобрения усиливала потребление дополнительного количества почвенного азота на 19-25% на обеих частях склона.

При выращивании многолетних бобово-злаковых трав 2-го г.ж. на равнинных участках баланс азота удобрения складывается следующим образом: используется растениями 22-50%, иммобилизация в почве – 40-45% и теряется в виде газообразных соединений 10-33% применяемой дозы [6]. Потребление

азота удобрения травами, иммобилизация его в почве снижались, а газообразные потери увеличивались от приводораздельной части склона к нижней его части при обоих способах применения удобрения (табл. 2). В засушливых условиях периода вегетации трав 2-го г.ж. уменьшались иммобилизация азота удобрения в почве и его газообразные потери по сравнению с травами первой ротации севооборота. Снижение иммобилизации азота удобрения на второй год жизни многолетних бобово-злаковых трав связано прежде всего с изменением структуры агрофитоценоза [7-12]. При локализации азотного удобрения эти травы лучше (в 1,1-1,2 раза) использовали азот удобрения, при этом его больше (в 1,1-1,2 раза) закреплялось в почве и меньше (в 1,6-2,6 раза) терялось в виде газообразных соединений, чем при разбросном способе применения. В нормальных условиях вегетации под травами 2-го г.ж. иммобилизация азота удобрения оказалась выше, поскольку они относятся к медленному типу разложения (при более высоком соотношении C:N=28-29:1) [13-16].

Снижение потребления азота травами на нижней части склона вызывало уменьшение их продуктивности на 22-47% по сравнению с приводораздельной частью склона (табл. 3). Самый высокий урожай фитомассы травы формировали при локальном применении азотного удобрения на приводораздельной части склона. Локализация азотного удобрения повышала продуктивность трав на 11% в приводораздельной части склона и на 6% в нижней его части по сравнению с разбросным способом его применения.

Качество фитомассы бобово-злаковых трав зависит от года выращивания, технологии возделывания и погодных условий [17]. Содержание сырого белка в фитомассе трав в нижней части склона снижалось на 12-22%, а количество нитратов повышалось на 7-16% по сравнению с приводораздельной его частью (табл. 4). Наибольшее количество сырого белка в фитомассе трав содержалось при локальном применении азотного удобрения: выше на 1,2% в приводораздельной части склона и на 1,9% в нижней его части по сравнению с фоном. От локализации азотного удобрения количество сырого белка в фитомассе повышалось на 1,1% в верхней части склона и на 0,3% – в нижней по сравнению с разбросным способом применения.

Содержание NO₃⁻ в фитомассе трав под действием азотного удобрения увеличивалось на 4-11% в верхней части склона и на 4-20% – в нижней (табл. 4). При локальном применении азотного удобрения величина этого показателя снижалась на 7% в верхней части склона и на 16% – в нижней части склона по срав-

Табл. 2. Потоки и баланс азота удобрения при выращивании многолетних бобово-злаковых трав на различных элементах склона в зависимости от способа внесения азотного удобрения

Вариант	Использовано растениями		Закреплено в слое почвы 100 см		Газообразные потери	
	1*	2	1	2	1	2
Фон + ¹⁵ N ₃₀ вразброс	1,46 49	1,21 40	1,06 33	0,83 25	0,54 18	0,96 35
Фон + ¹⁵ N ₃₀ локально	1,66 55	1,38 46	1,13 37	1,03 34	0,21 8	0,59 20

Примечание. 1 – приводораздельная часть склона, 2-3⁰, 2 – нижняя часть склона, 5-7⁰; азот удобрения: над чертой – г/м², под чертой – доля от применяемой дозы, %.

Табл. 3. Продуктивность многолетних бобово-злаковых трав на различных элементах склона в зависимости от способа внесения азотного удобрения (3-я ротация)

Вариант	Урожайность, г/м ²	Прибавка урожая		Прибавка от локализации удобрений	
		г/м ²	%	г/м ²	%
Приводораздельная часть склона, 2-3⁰					
P ₃₀ K ₃₀ – фон	407	-	-	-	-
Фон + ¹⁵ N ₃₀ вразброс	777	370	91	-	-
Фон + ¹⁵ N ₃₀ локально	863	456	112	86	11
Нижняя часть склона, 5-7⁰					
P ₃₀ K ₃₀ – фон	266	-	-	-	-
Фон + ¹⁵ N ₃₀ вразброс	603	337	127	-	-
Фон + ¹⁵ N ₃₀ локально	641	375	141	38	6
P, %		3,0			
НСР _{0,5} частных средних, г/м ²		42			
НСР _{0,5} рельеф, г/м ²		24			
НСР _{0,5} удобрения, г/м ²		30			

Табл. 4. Содержание сырого белка и нитратов в фитомассе многолетних бобово-злаковых трав

Вариант	Содержание	
	сырой белок, %	NO ₃ ⁻ , мг/кг
Приводораздельная часть склона, 2-3⁰		
P ₃₀ K ₃₀ – фон	20,7	101
Фон + ¹⁵ N ₃₀ вразброс	20,8	112
Фон + ¹⁵ N ₃₀ локально	21,9	105
Нижняя часть склона, 5-7⁰		
P ₃₀ K ₃₀ – фон	17,0	107
Фон + ¹⁵ N ₃₀ вразброс	18,6	127
Фон + ¹⁵ N ₃₀ локально	18,9	111

нению с разбросным способом его применения. Таким образом, азотное удобрение, внесенное локально, сдвигает направленность обмена веществ в биомассе многолетних бобово-злаковых трав 2-го г.ж. в сторону синтеза белковых веществ за счет использования небелковых азотистых соединений.

Таким образом, для многолетних бобово-злаковых трав второго года жизни характерно существенное снижение доли клевера в агрофитоценозе. В 2015 г. в засушливых условиях третьей ротации севооборота с ¹⁵N на эродированной дерново-подзолистой почве приводораздельной части склона потребление азота удобрения травами повышается на 20%, азота почвы – на 67%, симбиотического азота – на 23% по сравнению с нижней его частью. При этом снижается иммобилизация азота удобрения и повышаются его газообразные потери. Локализация азотного удобрения увеличивает потребление травами азота удобрения на 14%, азота почвы – на 7-10% и симбиотического азота – на 26-53% по сравнению с разбросным способом применения. При локальном внесении азотного удобрения травы лучше (в 1,1-1,2 раза) используют азот удобрения, его больше (в 1,1-1,2 раза) закрепляется в почве и

меньше (в 1,6-2,6 раза) теряется в виде газообразных соединений, чем при разбросном способе. Повышается продуктивность трав на 6-11%, содержание сырого белка в фитомассе – на 0,3-1,1% снижается количество нитратов на 7-16%.

Литература

1. Кауштанов А.Н., Явтушенко В.Е. *Агроэкология почв склонов*. – М.: Колос, 1997. – 239 с.
2. Явтушенко В.Е., Цуриков Л.Н., Шмырева Н.Я. *Использование азота многолетним бобово-злаковым травостоем из профиля дерново-подзолистой почвы в эрозионном рельефе // Агрехимия*. – 2006. – №1. – С.1-7.
3. Явтушенко В.Е., Цуриков Л.Н., Шмырева Н.Я. *Использование многолетней бобово-злаковой травостоем азота удобрений в зависимости от срока их внесения, рельефа и сроков обработки почвы // Агрехимия*. – 2005. – №1. – С.1-8.
4. 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.
5. Шмырева Н.Я., Соколов О.А., Завалин А.А., Черников В.А. *Баланс азота при выращивании многолетних бобово-злаковых трав на склоне // Плодородие*. – 2016. – №2. – С.43-45.
6. Завалин А.А., Соколов О.А. *Потоки азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней*. – М.: ВНИИА, 2016. – 591 с.
7. Jensen L.S., Salo T., Palmason F. *Influence of biochemical quality on C and N mineralization from a broad variety of plant materials in soils // Plant and Soil*. – 2005. – V.273. – №1-2. – P. 307-326.
8. Pardo L.H., Templer P.H., Goodate C.L. *Regional assessment of N saturation using foliar and root delta 15N // Biogeochemistry*. – 2006. – V. 80. – P.143-171.
9. Kahman A., Wanek W., Buchmann N. *Foliar delta 15N values characterize soil N cycling and reflect nitrate or ammonium preference of plants along a temperate grassland // Oecologia*. – 2008. – V. 158. – P.371-381.
10. Krisznan M., Amelung W., Schellberg J. *Long-term changes of the delta N-15 natural abundance of plants and soil in a temperate grassland // Plant and Soil*. – 2009. – V. 325. – P. 157-169.
11. Rascher K.G., Hellmann C., Magus C. *Community scale 15N isoseapes: tracing the spatial impact of an exotic N2 fixing invader. // Ecology Letters*. – 2012. – V. 15. – P. 484-491.
12. Jnselsbacher E., Wanek W., Strauss J. *A novel 15N tracer model re-reveals: plant nitrate doverns nitrogen transformation rates in agriculture soils // Soil Biol. Biochem.* – 2013. – V. 57. – P. 301-310.
13. Осипов А.И., Соколов О.А. *Экологическая безопасность и устойчивое развитие. Кн.4. Роль азота в плодородии почв и питании растений*. – С-Пб.: 2001а. – 360 с.
14. Schon N.L., Mackay A.D., Hedley M.J. *Influence of soil faunal communities on nitrogen dynamics in legume-based mesocosms // Soil Research*. – 2011. – V. 49. – P. 190-201.
15. Denk T.R.A., Mohn J., Decock C. *The nitrogen cycle: A review of isotope effects and isotope modeling approaches // Soil Biol Biochem.* – 2017. – V. 105. – P. 121-137.
16. Praveen-Kumar, Jagadish C. Tarafdar, Jitendra Panwar, Shyam Kathju. *A rapid method for assessment of plant residue quality // J. Plant Nutrition and Soil Sci.* – 2003. – V. 166. – № 5. – P. 662-666.
17. Черников В.А., Соколов О.А. *Экологически безопасная продукция*. – М.: Колос, 2009. – 438с.

Поступила в редакцию 18.12.18
Принята к публикации 19.01.19