

# НАПРАВЛЕННОСТЬ ПОТОКОВ АЗОТА В АГРОЭКОСИСТЕМЕ НА СКЛОНЕ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ, МЕЧЕННЫХ $^{15}\text{N}$

О.А. Соколов, д.б.н., А.А. Завалин, чл.-корр. РАН, Н.Я. Шмырева, к.б.н., ВНИИА,  
В.А. Черников, д.с.-х.н., РГАУ – МСХА

Определены параметры циклов азота: минерализация, иммобилизация/реиммобилизация, нетто-минерализация в условиях дерново-подзолистой почвы на склоне юго-восточной экспозиции при внесении биомассы трав, меченых  $^{15}\text{N}$ . Показано что, органические удобрения существенно повышают продуктивность и экологическую устойчивость агроэкосистем на всех элементах склона.

Ключевые слова: изотоп азота  $^{15}\text{N}$ , потоки азота, минерализация, нетто-минерализация, реиммобилизация.

Сегодня в мире эрозии подвержена значительная часть сельскохозяйственных земель, причем в сильной и средней степени 80%, в слабой – 10% [14]. Во всем мире потери почвы в результате эрозии достигают 30 т/га в год, в России они составляют 15 т/га. Доля эродированных сельскохозяйственных земель в нашей стране достигла 30% [4]. В отдельных регионах России (Красногвардейский район, Белгородская обл.) водной эрозии подвержено 73% территории [1].

Водная эрозия затрагивает глубинные процессы трансформации азота в почве. Благодаря применению метода изотопной индукции, удалось выяснить направленность потоков азота минеральных удобрений, азота почвы и симбиотического азота в агрофитоценозах на склонах [5-8, 10]. Что касается азота органических удобрений, вопрос остается нерешенным.

Цель работы – дать количественную оценку потоков азота в агроэкосистеме на склоне при применении органических удобрений, меченых  $^{15}\text{N}$ .

**Методика.** В условиях микрополевого опыта изучен баланс азота фитомассы (биомассы) различных трав (меченых  $^{15}\text{N}$ ) при выращивании овса на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве различной степени эродированности. Для проведения исследований предварительно на дерново-подзолистой почве (Смоленская обл.) выращивали различные травы (люпин узколистный, клевер луговой, тимopheевка луговая), под которые вносили сульфат аммония с высоким обогащением  $^{15}\text{N}$  (свыше 95 ат.%). В результате был получен растительный материал (фитомасса) с исходным обогащением  $^{15}\text{N}$  – 13,1–15,0 ат. % и содержанием общего азота 2,0–2,8% (табл. 1).

Микрополевым опытом (размер делянки 0,5 x 1,0 м) размещали на склоне ЮВ экспозиции, вогнуто-выпуклой формы с уклоном в верхней части 2–3°, в нижней – 5–7°. Длина склона 300 м, повторность в опыте 4-кратная.

## 1. Характеристика биомассы различных трав

Биомасса трав, меченая $^{15}\text{N}$	Соотношение C:N	$^{15}\text{N}$ , ат.		Доза N, внесенная с фотомассой, г/м <sup>2</sup>
		%		
Люпин	23	2,8	15,0	5,04
Клевер	19	2,5	14,5	5,02
Тимофеевка	27	2,0	13,1	5,01

Меченую  $^{15}\text{N}$  биомассу трав измельчали на отрезки 0,5–1,0 см и вносили в почву осенью в дозе 5,01–5,04 г/м<sup>2</sup> ( $\text{N}_{50}$ , кг/га) на фоне фосфорных и калийных удобрений ( $\text{P}_{50}\text{K}_{50}$ ). В опыте выращивали овес (сорт Скакун), норма высева семян 5 млн/га. Метеорологические условия для выращивания овса в 2012 г. были не очень благоприятными. ГТК за вегетационный период составил 1,4 к среднемноголетнему 1,7. Температура воздуха за вегетационный период была выше в 1,1 раза, а коли-

чество выпавших осадков в 1,2 раза меньше по сравнению со средней многолетней нормой.

Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой почвы:  $\text{pH}_{\text{кол}}$  5,7 (верхняя часть склона) и 6,1 (нижняя часть склона);  $\text{N}_t$  – 1,18 и 0,8 мг-экв/100 г почвы; содержание обменных  $\text{Ca}^{2+}$  5,5 и 6,0 мг-экв/100 почвы,  $\text{Mg}^{2+}$  2,0 и 2,2 мг-экв/100 г почвы; гумуса – 2,1 и 0,8 %; общего азота – 0,09–0,07%; подвижного фосфора – 13,7 и 18,7 мг/100г почвы, обменного калия 13,8 и 16,7 мг/100 г почвы (по Кирсанову).

Общий азот в растительных и почвенных образцах определяли по методу Кьельдаля – Йодльбауэра. Изотопный состав азота устанавливали на масс-спектрометре «Delta – V». Расчеты потоков азота почвы и азота удобрений проводили по формулам [2, 9, 13].

**Результаты и их обсуждение.** При внесении биомассы трав в почву поступает целый комплекс специфических органических соединений (белки, углеводы, жиры, витамины, аминокислоты, соли), которые оказывают непосредственное влияние на трансформацию азота в почве. От этого зависит характер потребления азота удобрения и азота почвы овсом (табл. 2).

## 2. Потребление азота удобрений и азота почвы овсом в зависимости от элемента источника азота биомассы трав и элемента склона

Биомасса трав, меченая <sup>15</sup> N	Общий вынос, г/м <sup>2</sup>	В том числе N				«Экстра» – N		КИАУ, %
		удобрения		почвы		г/м <sup>2</sup>	%	
		г/м <sup>2</sup>	%	г/м <sup>2</sup>	%			
Верхняя часть склона, 2-3 <sup>0</sup>								
P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (фон)	2,16	-	-	2,16	100	-	-	-
Клевер	6,60	1,85	28	4,75	72	2,59	39	36,8
Люпин	4,55	1,40	31	3,15	69	0,95	22	27,8
Тимофеевка	3,44	1,84	24	2,60	76	0,44	13	16,8
Нижняя часть склона, 5-7 <sup>0</sup>								
P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (фон)	1,63	-	-	1,63	100	-	-	-
Клевер	4,30	1,25	29	3,05	71	1,42	33	24,7
Люпин	3,67	1,10	30	2,57	70	1,10	30	21,9
Тимофеевка	2,56	0,69	27	1,87	73	0,24	9	13,8

Наибольшее количество азота удобрения и азота почвы овес потреблял при внесении в почву биомассы клевера, наименьшее – биомассы тимopheевки. Происходит это вследствие того, что азот клевера наиболее интенсивно включается в образование гуминовых кислот, тогда как азот тимopheевки – в накопление фульвокислот дерново-подзолистой почвы [11]. Азот клевера также более активно включается в биосинтез микробной биомассы в почве по сравнению с азотом тимopheевки [12]. При внесении биомассы клевера овес потреблял большее количество «экстра – N», вследствие усиления минерализации почвенного азота.

Баланс азота биомассы трав менялся в зависимости от элемента склона и вида удобрения (табл. 3). Использование азота биомассы трав овсом, закрепление его в почве снижались от приводораздельной части склона к нижней его части, а газообразные потери, наоборот, возрастали. Подобная закономерность отмечена и при внесении азотных минеральных удобрений. При внесении биомассы клевера овес больше использовал азот удобрения, при этом меньше его закреплялось в почве и терялось в газообразной форме. Наибольшее количе-

ство азота закреплялось в почве и терялось при внесении биомассы тимфеески. При внесении под овес азотных минеральных удобрений, меченых  $^{15}\text{N}$ , в почве закреплялось меньше азота удобрения и больше терялось в виде газообразных соединений по сравнению с азотом биомассы трав [8].

### 3. Баланс азота биомассы трав при выращивании овса в зависимости от элемента склона

Источник $^{15}\text{N}$	Доза $\text{N}$ , $\text{г/м}^2$	Использование растениями		Иммобилизация в 100 см слое		Потери	
		1	2	1	2	1	2
Клевер	5,02	<u>1,85</u> 37	<u>1,25</u> 25	<u>2,76</u> 55	<u>2,51</u> 50	<u>0,41</u> 8	<u>1,26</u> 25
Люпин	5,04	<u>1,40</u> 28	<u>1,10</u> 22	<u>3,02</u> 60	<u>2,62</u> 52	<u>0,62</u> 12	<u>1,32</u> 26
Тимофеевка	5,01	<u>0,84</u> 17	<u>0,69</u> 14	<u>3,46</u> 69	<u>2,96</u> 59	<u>0,71</u> 14	<u>1,36</u> 27

Примечания. 1 – приводораздельная часть склона, 2-3<sup>0</sup>; 2 – нижняя часть склона, 5-7<sup>0</sup>.

Над чертой –  $\text{г/м}^2$ , под чертой – % от внесенного азота.

При внесении в почву биомассы трав, также как и минеральных азотных удобрений, продуктивность овса снижалась от приводораздельной части склона к тальвегу (табл. 4). В нижней части склона овес потреблял в 1,2-1,5 раза меньше азота биомассы трав и азота почвы, что приводило к соответствующему снижению его продуктивности. Наибольшее количество азота органических удобрений и азота почвы овес потреблял при внесении биомассы клевера в почву, что обеспечило формирование наибольшего урожая зерна и соломы. Снижение потребления азота люпина и тимфеески, а также азота почвы сопровождалось падением продуктивности овса на всех элементах склона.

### 4. Продуктивность овса в зависимости от вида органического удобрения и элемента склона

Биомасса, обогащенная <sup>15</sup> N	Зерно			Солома		
	г/м <sup>2</sup>	Прибавка		г/м <sup>2</sup>	Прибавка	
		г/м <sup>2</sup>	%		г/м <sup>2</sup>	%
Верхняя часть склона, 2-3 <sup>0</sup>						
Р <sub>50</sub> К <sub>50</sub> (фон)	176	-	-	202	-	-
Фон + клевер	384	208	118	453	1	124
Фон + люпин	296	120	68	358	156	77
Фон + тимо- феевка	266	90	51	315	113	60
Нижняя часть склона, 5-7 <sup>0</sup>						
Р <sub>50</sub> К <sub>50</sub> (фон)	143	-	-	162	158	-
Фон + клевер	266	123	86	320	158	98
Фон + люпин	233	90	63	311	149	92
Фон + тимо- феевка	208	65	45	250	88	54
Р, %	2			2		
НСР <sub>0,5</sub> , г/м <sup>2</sup> :						
част. ср	14			16		
склон	7			8		
культуры	10			12		

Минерализованный в процессе вегетации овса азот почвы (М) является «входом» вещества в систему почва – растение. В то же время нетто-минерализованный азот (Н-М) служит «выходом», а «возвратом на выходе» является реиммобилизованный азот (РИ) (табл. 5.). Устойчивость системы обеспечивается возвратом 50% вещества, при котором она приближается к состоянию экологического равновесия. Интегральным показателем функционирования агроэкосистемы является отношение Н-М : РИ, характеризующее соотношение между потоками азота, направленными в гетеро- и автотрофный циклы. Чем выше соотношение Н-М : РИ, тем система менее устойчива. В то же время, чем ниже значение отношения РИ : М, тем система менее устойчива. Для определения степени устойчивости разработаны критерии интегрированной оценки режимов функционирования агроэкосистемы и уровней воздействия на нее [3].

### 5. Показатели интегральной оценки функционирования системы почва-растение при выращивании овса на различных элементах склона в зависимости от вида органического удобрения, меченного $^{15}\text{N}$

Показатель	Клевер		Люпин		Тимофеевка	
	1	2	1	2	1	2
Реиммобилизованный азот, $\text{г/м}^2$	8,54	8,02	8,70	8,18	13,26	10,57
Минерализованный азот, $\text{г/м}^2$	19,22	17,87	17,31	17,37	21,43	18,99
Нетто-минерализованный азот, $\text{г/м}^2$	9,36	9,24	7,49	8,63	7,26	8,01
РИ : М, %	44	45	45	47	62	56
Н·М : РИ	1,1	1,2	0,9	1,0	0,6	0,8

Примечание. 1 – приводораздельная часть склона, 2-3<sup>0</sup>; 2 – нижняя часть склона, 5-7<sup>0</sup>.

В процессе вегетации наибольшее количество почвенного азота минерализовалось при внесении биомассы тимфеески, при этом наиболее активно протекал процесс реиммобилизации азота, что снижало нетто-минерализацию. Наибольшее количество нетто-минерализованного азота накапливалось в почве при внесении биомассы клевера.

Агроэкосистема на всех элементах склона при внесении биомассы трав в почву находилась в состоянии гомеостаза при нормальном уровне воздействия. На самом высоком уровне экологической устойчивости была система на приводораздельной части склона при внесении биомассы тимфеески. По показателю Н·М:РИ устойчивость агроэкосистемы в нижней части склона снижалась. При внесении органических удобрений экологическая устойчивость агроэкосистемы на склоне оставалась на более высоком уровне, чем при внесении минеральных азотных удобрений.

Таким образом, органические удобрения (биомасса трав, меченая  $^{15}\text{N}$ ) повышают продуктивность и экологическую устойчивость агроэкосистем на всех элементах склона. Наибольшей устойчивостью обладает агроэкосистема при внесении биомассы тимфеески.

#### Литература

1. Котлярова Е.Г. Диагностика органического вещества почвы в системе ландшафтного земледелия // Земледелие. – 2015. – №3. – С.20-24.
2. Помазкина Л.В. Агрохимия азота в таежной зоне Прибайкалья. – Новосибирск: Наука, 1985.-176 с.
3. Помазкина Л.В., Котова Л.Г., Лубнина Е.В. Биогеохимический мониторинг и оценка режимов функционирования агроэкосистем на техногенно загрязняемых почвах. – Новосибирск: СО Наука, 1999. – 208 с.
4. Романенко Г.А. Проблемы деградации, охраны и восстановления продуктивности сельскохозяйственных земель. – М.: ВНИИА, 2007.- 76 с.
5. Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Показатели циклов азота и устойчивость агроэкосистем в условиях склона // Плодородие. – 2009. – №3. – С.4-8.
6. Соколов О.А., Шмырева Н.Я., Цуриков Л.Н. Изменение параметров потоков симбиотического азота при выращивании трав на склонах // Плодородие.- 2010.- №4.- С.4-5.
7. Сычев В.Г., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Роль азота в интенсификации продукционного процесса сельскохозяйственных культур. Агроэкологические аспекты роли азота в продукционном процессе. – М.: ВНИИА, 2009. – Т.1.- 423 с.
8. Сычев В.Г., Соколов О.А., Завалин А.А., Шмырева Н.Я. Роль азота в интенсификации продукционного процесса сельскохозяйственных культур. Экологические аспекты роли азота в продукционном процессе. – М.: ВНИИА, 2012. – Т.2. – 272 с.
9. Турчин Ф.В. Использование азотных удобрений урожаем и их превращение в почве. // ВХО. – 1965.- Т.10.- №4.- С.400-401.
10. Шмырева Н.Я., Соколов О.А. Управление потоками азота на разных склонах // Плодородие. -2009. – №3. – С.6-9.
11. 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.
12. Шмырева Н.Я., Соколов О.А., Завалин А.А. Особенности ассимиляции микроорганизмами азота фитомассы многолетних трав в почве разной степени эродированности// Доклады РАСХН. – 2014. – №3. – С. 35-38.
13. Fried M., Dean L. A concerning the measurement of available soil nutrients. Soil Sci., 1952. v.73. №4, p. 263-271.
14. Pimentel D., Burgess M. Soil erosion Threatens Food Production. Agriculture. 2013. №3, p. 443-463.

# DIRECTIONS OF NITROGEN FLUXES IN AN AGROECOSYSTEM ON THE SLOPE AT THE APPLICATION OF $^{15}\text{N}$ -LABELED ORGANIC FERTILIZERS

*O.A. Sokolov<sup>1</sup>, A.A. Zavalin<sup>1</sup>, N.Ya. Shmyreva<sup>1</sup>, V.A. Chernikov<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry, Russian Academy of Agricultural Sciences, ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia, info@vniia-pr.ru*

*<sup>2</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy, ul. Timiryazeva 49, Moscow, 127550 Russia*

*The parameters of the nitrogen cycle (mineralization, immobilization/reimmobilization, net mineralization) in a soddy-podzolic soil on the slope of eastern exposure at the application of  $^{15}\text{N}$ -labeled grass biomass have been determined. It has been shown that organic fertilizers significantly increase the yielding capacity and ecological stability of agroecosystems on all slope elements.*

*Keywords:  $^{13}\text{N}$  isotope, nitrogen fluxes, mineralization, net mineralization, reimmobilization.*