

(<sup>15</sup>N)

Обсуждены результаты исследований по трансформации азота удобрений, почвы и симбиотического азота при выращивании многолетних бобово-злаковых трав 2-го г.п. на склоновых землях.

**Ключевые слова:** стабильный изотоп азота <sup>15</sup>N, симбиотический азот, циклы азота, устойчивость агрофитоценоза.

В условиях эрозионного (склонового) ландшафта многолетние травы выполняют важные экологические функции: снижают твердый и жидкий сток, а с ним и потери элементов питания, сокращают газообразные потери азота удобрений и почвы, и симбиотического азота; повышают плодородие почвы и устойчивость агроэкосистемы в целом [14, 12, 3, 2, 1, 13, 7, 15, 8].

**Объекты и методы исследований.** В условиях длительного стационарного опыта Смоленского НИИСХ в начале третьей ротации севооборота (2006 г.) был заложен микрополевой опыт с сульфатом аммония, обогащенным тяжелым изотопом азота <sup>15</sup>N (20 ат. %).

Почва – дерново-подзолистая среднесуглинистая на карбонатном моренном суглинке слабо (приводораздельная часть склона 2-3<sup>0</sup>) и среднесмытая (средняя часть склона 4-5<sup>0</sup>, нижняя часть склона 5-7<sup>0</sup>). Агрохимическая характеристика почвы по склону представлена следующими показателями: рН<sub>сол.</sub> – 5,7; 5,9; 6,1, Нг – 1,18; 0,6; 6,0 мг-экв/100 г и Mg<sup>2+</sup> – 2,0; 2,4; 2,2 мг-экв/100 г почвы, гумус – 2,1; 0,9; 0,8%, общий азот – 0,19; 0,13; 0,09%, подвижный фосфор – 13,7; 15,8; 18,7 и обменный калий – 13,8; 15,0; 16,7 мг/100 г почвы.

Микрополевой опыт (размер делянки 0,5 х 1,0 м) размещен на склоне ЮВ экспозиции. Длина склона 300 м, повторность 4-кратная, с <sup>15</sup>N – 2-кратная. Азотные удобрения (N<sub>a</sub>) вносили в дозе 30 кг/га двумя способами: вразброс и локально. Чередование культур в севообороте: озимая рожь-овес-ячмень (с подсевом мно-

голетних трав) – многолетние травы 1 г.п. – многолетние травы 2 г.п.

Общий азот в почвенных и растительных образцах определяли по методу Кьельдаля-Йодльбауэра [5], изотопный состав азота на масс-спектрометре Delta V Advantage. Расчеты потоков азота удобрений, почвы и симбиотического производили по соответствующим формулам [6, 8, 14]. Размеры азотфиксации многолетними травами определяли по [10].

ГТК за вегетационный период – 2,1, среднемноголетний – 1,5. За вегетационный период сумма осадков составила 231 мм при норме 181 мм.

**Результаты и их обсуждение.** Многолетние бобово-злаковые травы 2-го года пользования (г.п.) при локальном внесении азотных удобрений формировали наибольший урожай сена на приводораздельной части склона. Продуктивность трав снижалась от верхней к нижней части склона. Прибавка урожая сена от локализации азотных удобрений (по сравнению с разбросным способом их применения) составила в верхней части склона 54%, в средней – 39, и в нижней – 51% (табл. 1).

Использование азота удобрений травами снижалось от верхней к нижней части склона. Локальное внесение азотных удобрений обеспечивало лучшее (в 2,0-2,9 раза) использование азота удобрения по сравнению с разбросным способом их применением.

При выращивании трав 2-го г.п. иммобилизация азота удобрений снижалась от верхней к нижней части склона. В почве закреплялось в 1,2-1,3 раза азота больше, чем под травами 1-го г.п. результаты исследований по травам 1-го г.п. нами опубликованы ранее [7]. Локальное внесение азотных удобрений существенно не влияло на степень иммобилизации азота удобрений по сравнению с разбросным способом.

<sup>15</sup> N <sub>30</sub>	, / 2											
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	567	360	295	22	16	15	45	43	35	33	41	50
	874	500	448	50	43	29	40	44	37	10	13	29

2 – 0,5; / 2: – 126,8, – 73,2, – 73,2; : 1 – , 2-3<sup>0</sup>, 3-5<sup>0</sup>; 3 – , 5-7<sup>0</sup>

Газообразные потери азота удобрений при выращивании многолетних бобово-злаковых трав 2-го г.п. снижались в 1,2-1,3 раза по сравнению с травами 1-го г.п. пользования. Так же как и у трав 1-го г.п. газообразные потери азота удобрения возрастали от верхней к нижней части склона. При локальном внесении азотных удобрений в 1,7-3,3 раза снижались газообразные потери азота. Наиболее эффективно (в 3,3 раза)

снижались потери азота на водоразделе, менее эффективно (в 1,7 раза) – в нижней части склона.

Изменения в системе почва-воздух-растение или в одном из ее компонентов тесно связаны со структурными и функциональными перестройками в почвенно-биологическом комплексе. В основе этих изменений лежит азотный обмен как внутри компонентов, так и между ними, интегрированный потоками (азота удоб-

рений, почвы и симбиотического), формирующими циклы азота. внутритпочвенный (гетеротрофный) и автотрофный

2. - , / 2 2- . . -

	1	2	1	2	1	2
	<u>0,23</u>	<u>0,38</u>	<u>0,20</u>	<u>0,35</u>	<u>0,21</u>	<u>0,18</u>
	0,40	0,51	0,30	0,40	0,19	0,27
	<u>4,44</u>	<u>2,86</u>	<u>3,73</u>	<u>2,13</u>	<u>3,13</u>	<u>1,02</u>
	9,85	7,89	9,36	6,68	7,56	5,29
	<u>3,39</u>	<u>0,72</u>	<u>3,58</u>	<u>0,63</u>	<u>4,47</u>	<u>0,91</u>
	7,23	1,97	9,00	1,97	10,80	3,90
	<u>10,23</u>	<u>7,54</u>	<u>8,87</u>	<u>5,19</u>	<u>9,15</u>	<u>3,10</u>
	22,30	20,23	22,07	15,58	21,79	13,72
	<u>2,17</u>	<u>3,58</u>	<u>1,36</u>	<u>2,08</u>	<u>1,34</u>	<u>0,99</u>
	4,82	9,86	3,41	6,53	3,24	4,26

. 1-3 . . 1; - , -

Потребление азота атмосферы многолетними бобово-злаковыми травами 2-го г.п. и его иммобилизация в дерново-подзолистой почве снижались от верхней к нижней части склона, тогда как его газообразные потери наоборот, возрастали. При локальном внесении N-удобрений потребление азота атмосферы повышалось, а его иммобилизация и потери существенно снижались по сравнению с разбросным способом их внесения на всех элементах склона (табл. 2). Возрастала иммобилизация атмосферного азота по сравнению с его иммобилизацией при выращивании трав 1-го г.п. (в 1,1-1,4 раза). Азот атмосферы занимал основную долю в газообразных потерях азота: 62-64% при разбросном и 66-69% при локальном применении азотных удобрений.

Азот почвы и азот атмосферы, минерализованный за период вегетации многолетних бобово-злаковых трав 2-го г.п. (М), можно представить как «вход» вещества в систему. «Выходом» из системы является нетто-минерализованный азот (Н-М) за этот же период, а «возвратом на выходе» служит реиммобилизованный азот (РИ), поступающий на поддержание системы. Считается, что устойчивость системы обеспечивается возвратом 50% веществ, при котором система приближается к состоянию экологического равновесия [5, 3, 10]. Интегральным показателем устойчивого функционирования агроэкосистемы является отношение Н-М : РИ, характеризующее соотношение между потоками азота, направленными в гетеро-и автотрофный циклы. Величина соотношения Н-М:РИ близкая или равная единице возможна при рециркуляции примерно 50%. Чем выше соотношение Н-М : РИ, тем система менее устойчива. В то же время, чем ниже значение соотношения РИ : М (рециркуляция азота), тем система менее устойчива. Самоорганизованная смена режимов функционирования агроэкосистемы происходит в зависимости от антропогенной нагрузки: технологии применения удобрений.

При выращивании многолетних бобово-злаковых трав 2-го г.п. величина рециркуляции азота (РИ : М) была выше в 1,2-1,3 раза по сравнению с травами 1-го г.п. на всех элементах склона [7], что обеспечивало большую устойчивость их агрофитоценоза (табл. 3). Рециркуляция азота при выращивании трав 2-го года снижалась от верхней к нижней части склона. Азотные удобрения, внесенные локально усиливали рецирку-

ляцию азота в 1,1 раза по сравнению с разбросным их применением в той же дозе.

Показатель Н-М : РИ под травами 2-го г.п. в 1,2-1,6 раза ниже чем под травами 1-го г.п., что свидетельствует о большей экологической устойчивости их агрофитоценоза. Соотношение Н-М : РИ увеличивалось от приводораздельной части склона к тальвегу, т.е. происходило снижение устойчивости системы. Азотные удобрения, внесенные локально, снижали этот показатель в 1,1-1,2 раза по сравнению с разбросным способом их применения, что повышало устойчивость системы.

3. 2- . . -

	N-	: , %	- :
3 <sup>0</sup> , 2-	1	44	1,6
	2	48	1,3
5 <sup>0</sup> , 3-	1	42	1,4
	2	42	1,4
, 5-7 <sup>0</sup>	1	34	1,9
	2	37	1,7

Для определения степени устойчивости агроэкосистем разработаны критерии интегрированной оценки режимов их функционирования и уровней воздействия на них [6]. Выращиваемые многолетние бобово-злаковые травы 2-го г.п. на склоновых землях находятся в основном в неравновесном экологическом состоянии: в зоне стресса на всех элементах склона, кроме, кроме верхней части склона при локальном внесении азотных удобрений (зона гомеостаза при нормальном уровне воздействия). Так же как травы 1-го г.п. травы 2-го г.п. находились при допустимом уровне воздействия, но по интегральным показателям их агрофитоценоз был в более устойчивом экологическом состоянии.

**Выводы.** В 5-польном севообороте на дерново-подзолистой почве Центрального Нечерноземья бобово-злаковые травы 2-го г.п. формировали наибольший урожай надземной массы на приводораздельной части

склона при внесении  $N_{30}$  локальным способом. В нижней части склона снижалась продуктивность трав в 2 раза по сравнению с приводораздельной частью склона.

Иммобилизация азота удобрений травами 2-го г.п. повышалась в 1,1-1,3 раза, азота почвы – в 1,1-1,5 раза и азота атмосферы – в 1,1-1,3 раза по сравнению с многолетними травами 1-го г.п. По элементам склона иммобилизация азота снижалась от приводораздельной части склона к его тальвегу. Газообразные потери азота удобрений и симбиотического азота возрастали от верхней к нижней части склона. Азотные удобрения, внесенные локально, существенно (в 2,5 – 4 раза) снижали потери азота на всех элементах склона.

Многолетние бобово-злаковые травы 2-го г.п. на склонах находятся на более высоком уровне экологической устойчивости по сравнению с травами 1-го г.п. [7]. Соотношение минерализации и реиммобилизации (Н:М:РИ) азота под травами 2-го г.п. повышалось, а рециркуляция (РИ:М) снижалась от верхней к нижней части склона, что свидетельствует о меньшей устойчивости агрофитоценоза у основания склона. При локальном внесении азотных удобрений устойчивость агрофитоценозов повышалась на всех элементах склона.

#### Литература

1. Быстров А.В., Шмырева Н.Я. Влияние азотных удобрений на продуктивность травосмеси в условиях эрозионного ландшафта // *Агрохимия*. - 2002. - № 6. - С. 82-90.
2. Каштанов А.Н., Явтушенко В.Е. Агроэкология почв склонов. - М.: Колос, 1997, 240 с.

3. Милащенко Н.З., Соколов О.А., Брайсон Т., Черников В.А. Экологическая безопасность и устойчивое развитие. Т. 2. Устойчивое развитие агроландшафтов. - Пушкино, ОНТИ, 2000, - 282 с.
4. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии. - М.: МГУ, 2001, - С. 358-361.
5. Одум Ю. Экология. - Т. 2, М.: Мир, 1986, 376 с.
6. Помазкина Л.В., Котова Л.Г., Лубнина Е.В. Биогеохимический мониторинг и оценка режимов функционирования агроэкосистем на техногенно загрязняемых почвах. - Новосибирск: СИФ РАН Наука, 1999, - 208 с.
7. 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.
8. Турчин Ф.В. Использование азотных удобрений урожаем и их превращение в почве. *ЖВХО*, 1965, 10, № 4, с. 400-401.
9. Трепачев Е.П. Агрохимические аспекты биологического азота в современном земледелии. - М.: Агроконсалт, 1999, - 532 с.
10. Черников В.А., Милащенко Н.З., Соколов О.А. Экологическая безопасность и устойчивое развитие. Т. 3. Устойчивость почв к антропогенному воздействию. - Пушкино, ОНТИ, 2001. - 201 с.
11. Явтушенко В.Е. Экологические аспекты применения удобрений на склоновых почвах // *Тр. ВИУА*. - М.: 1990. - С. 35-40.
12. Явтушенко В.Е., Макаров Н.Б. Потери органического вещества и элементов питания растений из почвы в результате водной эрозии // *Агрохимия*. - 1996. - № 4. - С. 117-123.
13. Явтушенко В.Е., Цуриков Л.Н., Шмырева Н.Я. Использование многолетней бобово-злаковой травосмеси азота удобрений в зависимости от срока их внесения, рельефа и способов обработки почвы // *Агрохимия*. - 2005. - № 1. - С. 1-8.
14. Fried M., Dean L. A concerning the measurement of available soil nutrients // *Soil Sei.* - 1952. - v. 73. - № 4. - P. 263-271.

## BALANCE OF NITROGEN FERTILIZERS IN THE CULTIVATION OF PERENNIAL LEGUME-GRASS ON SLOPES

*N. YA. Shmyreva, O. A. Sokolov, L. N. Tsurikov, L. P. Prohin*

Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry Russian Academy of Agricultural Sciences,  
Pryanishnikov 31a, Moscow, 127550 Russia, [info@vniia-pr.ru](mailto:info@vniia-pr.ru)

When growing perennial legume-grass 2-year on sloping lands (sod-podzolic soil) increased immobilization and reduced gaseous losses of nitrogen fertilizer, soil nitrogen and symbiotic nitrogen compared with perennial grasses 1-year on all elements of the slope.

Key words: stable isotope of nitrogen  $^{15}N$ , symbiotic nitrogen, nitrogen cycle, sustainability agrophytocenoses.