

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЗОТА УДОБРЕНИЙ ЯЧМЕНЕМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ВНЕСЕНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЭРОЗИОННОГО ЛАНДШАФТА

*Н.Я. Шмырева, к.б.н., О.А. Соколов, д.б.н., Л.Н. Цуриков к.с.-х. н., Л.В. Прохин, ВНИИА,
И.В. Панкратенкова, СНИИСХ
(по результатам исследований с ^{15}N)*

Показано, что на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве склона юго-восточной экспозиции более экологичный баланс азота удобрений складывался при локальном способе внесения удобрений под ячмень.

Ячмень использовал 30% азота удобрений в приводораздельной части склона (2-3⁰), 24 – в средней части склона (4-5⁰) и 20% в нижней части склона (5-7⁰); закреплялось в почве 36; 32 и 28% и терялось 34; 44 и 52% соответственно.

Ключевые слова: стабильный изотоп азота ^{15}N , дерново-подзолистая эродированная почва, баланс азота.

В эрозионном ландшафте на дерново-подзолистых почвах склонов уровень продуктивности сельскохозяйственных культур определяется, главным образом, количеством усвоенного растениями азота почвы и азота внесенных удобрений. С увеличением степени смытости почвы урожайность полевых культур на этих почвах по сравнению с несмытыми снижается на 10-60% и более [1].

По данным Жилко и др., [2] урожай зерна ячменя на среднесмытых почвах Белоруссии снижался по сравнению с несмытой почвой с 19,9 до 16,2 ц/га без применения удобрений и с 30,0 до 27,7 ц/га при применении $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$. На дерново-подзолистых почвах склонов со средним содержанием в пахотном слое подвижного фосфора и калия наибольший урожай ячменя, на уровне 30 ц/га, в почвозащитном севообороте как при отвальной, так и при плоскорезной обработках, обеспечивался при внесении $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ [3].

Неиспользованный азот удобрений претерпевает в почве ряд превращений: иммобилизуется почвой, улетучивается в атмосферу и вымывается в нижние горизонты почвенного профиля, а на склонах мигрирует с поверхностным и латеральным стоками талых и ливневых вод, что приводит к увеличению потерь и загрязнению природной среды [4,2,1,5,6,7].

Цель наших исследований – с помощью меченых по ^{15}N удобрений определить степень использования азота удобрения и азота почвы ячменем, выявить эффективность различных способов применения азотных удобрений в почвозащитном севообороте в условиях эрозионного ландшафта.

Методика. В Смоленском НИИСХ в 2003 г. был заложен микрополевой опыт с сульфатом аммония, обогащенным меченым азотом (20 ат%) на делянках длительного стационарного опыта на варианте (1N1P1K) в начале третьей ротации севооборота с чередованием культур: озимая рожь – овес – ячмень с подсевом многолетних травосмесей – травосмеси 1-го года использования – травосмеси 2-го года использования.

Почва – дерново-подзолистая среднесуглинистая на карбонатном моренном суглинке слабо- (приводораздельная часть склона 2-3⁰) и среднесмытая (средняя часть склона 4-5⁰ и нижняя часть склона 5-7⁰). Содержание физической глины 32-34%. Агрохимическая характеристика пахотных слоев этих почв перед закладкой опыта в 2000 г.: рН_{кол.} 5,7; 5,9; 6,1, Нг – 1,18; 0,6; 0,8 мг-экв/100 г почвы, содержание обменных Ca^{2+} – 5,5; 6,0; 6,0 мг-экв/100 г почвы и Mg – 2,0; 2,4; 2,2 мг-экв/100 г почвы, гумуса – 2,1; 0,9; 0,8%, общего азота – 0,13; 0,10; 0,09%, подвижных форм фосфора – 13,7; 15,8; 18,7 мг/100 г почвы, калия – 13,8; 15,0; 16,7 мг/100 г почвы (по Кирсанову).

Микрополевой опыт (размер делянок 0,5 м × 1,0 м) был размещен на склоне ЮВ экспозиции в верхней части с уклоном 2-3⁰, средней 4-5 и нижней 5-7⁰. Длина склона 300 м. Повторность 4-кратная, с ^{15}N – 2-кратная. Защитные полосы между

микроделянками 0,5 м. Обработка почвы – отвальная вспашка + рыхление подпахотного слоя на глубину 10-15 см. Перед закладкой опыта проведено известкование из расчета полной нормы гидролитической кислотности.

В микрополевых опытах с ^{15}N азотные удобрения под ячмень (N_{50}) применяли весной при локальном внесении на глубину 10 см лентой и вразброс. Норма высева ячменя (сорт Носовский 9) – 5 млн всхожих зерен на 1 га.

В почве и растительном материале общий азот определяли по методу Кьельдаля-Йодльбауэра. Изотопный анализ азота проводили на масс-спектрометре МИ-1102. Другие аналитические показатели почвы и растений определяли в лабораториях ВНИИА по общепринятым методикам [8].

Результаты их обсуждения. Метеорологические условия вегетационного периода в 2003 г. были благоприятными для выращивания ячменя, ГТК составил 1,6. Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в мае 2003 г. равнялись 140 мм в приводораздельной, 130 в средней и 100 мм в нижней частях склона, а в период уборки (август) 80; 70 и 50 мм соответственно.

Потребление азота растениями ячменя зависело от элемента рельефа и способа внесения азотных удобрений. Потребление азота удобрения ячменем снижалось от приводораздельной части склона к тальвегу. При локальном внесении азотных удобрений потребление азота растениями в приводораздельной части склона составляло 12,32 г/м², в средней части – 11,46, в нижней части – 7,91 г/м², при разбросном способе внесения 7,36; 6,82; 5,24, а при локальном способе внесения с соломой 9,85; 9,55; 6,68 г/м² соответственно (табл.1). При локальном внесении азотных удобрений ячмень потреблял наибольшее количество азота удобрения на всех элементах склона по сравнению с разбросным их применением. Ячмень отличается широким диапазоном использования азота удобрения: от 14 до 70% [9,10,11,5,12,13]. Степень использования азота удобрения ячменем зависит от погодных условий, плодородия почв, доз, сроков и способов применения азотных удобрений и других факторов.

Коэффициент использования азота удобрений (КИАУ) ячменем при разбросном способе внесения составлял 43,3%, при локальном – 53,1% [14].

Использование азота удобрений ячменем в приводораздельной части склона составляло 30; 23; 15%, в средней части склона 24; 20 и 12 и в нижней части склона 20; 18 и 10% при локальном внесении, локальном внесении + солома, 2 т/га, и при разбросном внесении азотных удобрений соответственно.

Ячмень больше потребляет азот почвы – 87-91%, а удобрений 10-13% при обоих способах внесении азотных удобрений.

Локальное внесение азотных удобрений в дозе 50 кг/га способствовало увеличению дополнительного количества азота почвы («экстра»-азота) на приводораздельной части склона 6,13 г/м² (50%), в средней части склона 5,63 (49%) и в нижней части склона 3,58 г/м² (45%) (табл. 1).

На всех изучаемых вариантах опыта урожайность зерна и соломы ячменя была более высокой на приводораздельной части склона. Урожай ячменя зерна на фоновых вариантах составлял 240 г/м² на приводораздельной части склона, 230 в средней части склона и 225 г/м² в нижней части склона, а урожай соломы снижался с 396 до 312 и 256 г/м² соответственно по элементам рельефа. Наибольшее снижение урожая

соломы было в нижней части склона по сравнению с приводораздельной, достигавшее 140 г/м² (35%). Выявлена высокая эффективность азотных удобрений на всех изучаемых вариантах опыта и элементах рельефа. Прибавка урожая зерна от азота по сравнению с фоном составляла до 217 г/м² (35-90%), а соломы от 110 до 335 г/м² (от 43 до 85%).

Локальное размещение азотных удобрений имеет преимущество перед разбросным на всех элементах рельефа [14]. Прибавка от локализации удобрений под зерновые культуры составляет в среднем 1,7-3,6 ц/га [15]. Наибольший урожай зерна 457 г/м² и соломы 335 г/м² получен в варианте с локальным внесением азотных удобрений на глубину 10 см лентой на приводораздельной части склона. В приводораздельной части склона прибавка зерна от локального внесения азота по сравнению с разбросным достигала 127 г/м² (38%), а прибавка зерна на варианте с применением соломы составляла 83 г/м² (25%).

1. Использование растениями ячменя азота почвы и удобрений в зависимости от элемента склона и способа внесения азотных удобрений

Вариант опыта	Общий вынос, г/м ²	В том числе N из				«Экстра» – N		КИ-АУ, %
		удобрений		почвы		г/м ²	%	
		г/м ²	%	г/м ²	%			
<i>Приводораздельная часть склона 2-3⁰</i>								
P ₅₀ K ₅₀ (фон)	4,69	-	-	4,69	100	-	-	-
Фон + ¹⁵ N ₅₀ : вразброс	7,36	0,73	10	6,63	90	1,94	26	15
локально	12,32	1,50	12	10,82	88	6,13	50	30
локально + солома, 2 т/га	9,85	1,16	12	8,69	88	4,00	41	23
<i>Средняя часть склона 4-5⁰</i>								
P ₅₀ K ₅₀ (фон)	4,52	-	-	4,52	100	-	-	-
Фон + ¹⁵ N ₅₀ : вразброс	6,82	0,60	9	6,22	91	1,60	23	12
локально	11,46	1,21	11	10,25	89	5,63	49	24
локально + солома, 2 т/га	9,55	1,01	11	8,54	89	3,92	49	20
<i>Нижняя часть склона 5-7⁰</i>								
P ₅₀ K ₅₀ (фон)	3,33	-	-	3,33	100	-	-	-
Фон + ¹⁵ N ₅₀ : вразброс	5,24	0,50	10	4,74	90	1,41	27	10
локально	7,91	1,00	13	6,91	87	3,58	45	20
локально + солома, 2 т/га	6,68	0,89	13	5,79	87	2,46	37	18

Разбросной способ внесения азотных удобрений увеличивал содержание сырого протеина в зерне ячменя с 7,1 до 8,7% – по сравнению с фоном на 0,9-1,0%, при локальном внесении с 8,5-11,7% – на 2,4-4,7%, а применении соломы в дозе 2 т/га при локальном внесении – с 7,6 до 10,9% – на 1,5-3,9% соответственно по элементам рельефа (табл. 2).

Слабое использование растениями азота удобрений при разбросном способе внесения связано, по-видимому, со значительными его газообразными потерями, а также с поверхностным смывом и вымыванием в нижние слои почвы. Об этом свидетельствует передвижение меченого азота от места его внесения у ячменя на расстоянии 9 м в приводораздельной части склона, 11 в средней части и 13 м в нижней части склона ЮВ экспозиции.

Перемещение азота удобрений и содержание азота в метровом слое почвы свидетельствуют о возможном накоплении его в более глубоких слоях почвы. Наибольшее его количество сосредоточено в слое почвы 0-60 см во всех вариантах опыта с внесением азотных удобрений на всех элементах склона (табл. 3). Полученные данные об использовании азота удобрений ячменем, закреплению и миграции азота удобрений в почве позволили составить баланс азота удобрений (табл.4). В статью баланса оставшийся азот удобрений в почве включено количество азота удобрений, которое можно было обнаружить в верхнем метровом слое почвы. Больше всего азота терялось при разбросном способе внесения азотных удобрений: неучтенные его потери составили на приво-

дораздельной части 56%, в средней части склона – 63 и нижней части склона 72%, при локальном способе внесения азотных удобрений – 34, 44 и 52, а при локальном внесении с соломой в дозе 2 т/га – 32; 42 и 54% соответственно.

2. Продуктивность ячменя в зависимости от элемента склона и способа внесения азотных удобрений

Вариант опыта	Зерно	Прибавка		Сырой протеин, %	Со-лома	Прибавка		
	г/м ²	%			г/м ²	%		
<i>Приводораздельная часть склона 2-3⁰</i>								
P ₅₀ K ₅₀ (фон)	240	-	-	7,8	396	-	-	
Фон + ¹⁵ N ₅₀ : вразброс	330	90	38	8,7	552	156	39	
локально	457	217	90	10,3	731	335	85	
локально+солома, 2 т/га	413	173	72	8,7	605	209	53	
<i>Средняя часть склона 4-5⁰</i>								
P ₅₀ K ₅₀ (фон)	230	-	-	7,0	312	-	-	
Фон + ¹⁵ N ₅₀ : вразброс	310	80	35	8,0	435	123	39	
локально	407	177	77	11,7	570	258	83	
локально + солома, 2 т/га	366	136	59	10,9	512	200	64	
<i>Нижняя часть склона 5-7⁰</i>								
P ₅₀ K ₅₀ (фон)	225	-	-	6,1	256	-	-	
Фон + ¹⁵ N ₅₀ : вразброс	305	80	36	7,1	366	110	43	
локально	386	161	72	8,5	540	284	111	
локально + солома, 2 т/га	349	124	55	7,6	454	198	77	
P, %		2				2		
НСП ₀₅ , г/м ² част. ср.:		10				6		
рельеф		12				7		
удобрения		2				1		

3. Распределение азота почвы и удобрений по профилю почвы после уборки урожая ячменя, мг/100 г почвы

Вариант опыта, глубина, см	Приводораздельная часть склона 2-3 ⁰		Средняя часть склона 4-5 ⁰		Нижняя часть склона 5-7 ⁰	
	1	2	1	2	1	2
	P ₅₀ K ₅₀ (фон)	89	-	81	-	77
20-40	60	-	54	-	50	-
40-60	48	-	46	-	44	-
60-80	42	-	39	-	36	-
80-100	35	-	33	-	28	-
Фон+ ¹⁵ N ₅₀ вразброс						
0-20	98	0,12	90	0,12	80	0,09
20-40	70	0,12	64	0,11	60	0,08
40-60	51	0,10	50	0,09	48	0,07
60-80	43	0,04	41	0,04	40	0,04
80-100	38	0,04	34	0,04	35	0,03
Фон+ ¹⁵ N ₅₀ локально						
0-20	110	0,14	100	0,13	90	0,12
20-40	76	0,13	71	0,12	66	0,12
40-60	60	0,12	58	0,11	57	0,10
60-80	51	0,05	49	0,05	44	0,06
80-100	40	0,03	39	0,04	38	0,04
Фон+ ¹⁵ N ₅₀ локально + солома, 2 т/га						
0-20	115	0,16	103	0,14	90	0,12
0-40	100	0,14	95	0,12	70	0,11
40-60	80	0,11	75	0,10	60	0,10
60-80	50	0,06	45	0,06	42	0,05
80-100	36	0,05	35	0,05	34	0,04
P, %	1					
НСП ₀₅ , мг/100г почвы:						
част. ср.:	1,64					
рельеф	0,37					
удобрения	0,42					
глубина	0,47					

Примечание. В графе 1 – азот общий; 2 – в том числе ¹⁵N удобрений.

Таким образом на почвах склона Центрального Нечерноземья потребление азота удобрений растениями и иммобили-

зация его в почве снижались от приводораздельной части склона к тальвегу, тогда как потери азота удобрений наоборот возрастали независимо от способа применения азотных удобрений. Наименьшее количество азота как удобрения, так и почвы, ячмень потреблял в нижней части склона за счет худших условий, что приводило к снижению продуктивности растений. При локальном внесении азотных удобрений ячмень потреблял наибольшее количество азота удобрений на всех элементах склона по сравнению с разбросным их применением. При этом способе внесения закреплялось и терялось меньше азота удобрений. Применение соломы (на фоне локального внесения азотных удобрений) снижало потребление азота удобрения растениями и его закрепление в почве. Наибольший урожай зерна и соломы ячмень формировал на приводораздельной части склона.

Коэффициент использования азота удобрений (КИАУ) ячменем при разбросном способе внесения составлял 43,3%, при локальном – 53,1% [14].

Использование азота удобрений ячменем в приводораздельной части склона составляло 30; 23; 15%, в средней части склона 24; 20 и 12 и в нижней части склона 20; 18 и 10% при локальном внесении, локальном внесении соломы, 2 т/га и разбросном внесении азотных удобрений соответственно (табл. 1).

4. Баланс азота удобрений ячменя в зависимости от рельефа и способов внесения азотных удобрений, г/м²

Способ внесения ¹⁵ N ₅₀	Внесенный ¹⁵ N	N						Потери N		
		использованный растениями			оставшийся в почвенном слое (0-100 см)					
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Взброс	5	0,73	0,60		1,46	1,25	0,90	2,82	3,15	3,60
	100	15	12	0,50	29	25	18	56	63	72
Локально	5	1,50	1,21	1,00	1,80	1,60	1,40	1,70	2,19	2,60
	100	30	24	20	36	32	28	34	44	52
Локально + солома, 2 т/га	5	1,16	1,01	0,89	2,25	1,90	1,41	1,59	2,09	2,70
	100	23	20	18	45	38	28	32	42	54

Примечания. 1. В графе 1 – приводораздельная часть склона 2-3⁰; 2 – средняя часть склона 4-5⁰; 3 – нижняя часть склона 5-7⁰. 2. Над чертой – г/м², под чертой – % от внесенного азота

Ячмень больше потребляет азот почвы – 87-91%, а удобрений 10-13% при обоих способах внесении азотных удобрений (табл. 1).

Локальное внесение азотных удобрений в дозе 50 кг/га способствовало увеличению дополнительного количества азота почвы («экстра»-азота) на приводораздельной части склона 6,13 г/м² (50%), в средней части склона 5,63 (49%) и в нижней части склона 3,58 г/м² (45%) (табл. 1).

Выводы. 1. На дерново-подзолистой среднесуглинистой почве склона юго-восточной экспозиции наибольшее количество азота удобрения (30%) ячмень использовал в приводораздельной части склона при локальном внесении азотных удобрений в дозе 50 кг/га.

2. Локальное внесение азотных удобрений (N₅₀) способствовало дополнительному усвоению азота почвы («экстра» – азота). Под влиянием азотных удобрений в приводораздельной части склона с крутизной 2-3⁰ усиливалась минерализация органических соединений азота почвы. Дополнительная мобилизация почвенного азота в приводораздельной части

склона составляла 6,13 г/м², что больше в 1,1 раза по сравнению со средней и в 1,7 раза – с нижней частью склона.

3. Наибольшая урожайность зерна ячменя (457 г/м²) и соломы (731 г/м²) получена на приводораздельной части склона с наименьшей крутизной. Наибольшая прибавка зерна ячменя (38%) отмечена при локальном внесении азотных удобрений в приводораздельной части склона.

4. Азотные удобрения при локальном внесении увеличивали содержание сырого протеина в зерне ячменя на 2,4-4,7% по сравнению с фоновым вариантом.

5. При разбросном способе внесения азотных удобрений весной в приводораздельной части склона 29% азота удобрений закреплялось в почвенном профиле (0-100 см), 25 – в средней части склона и 18% – в нижней части склона, при локальном внесении – 36, 32 и 28% и большее количество азота закреплялось при локальном внесении азотных удобрений и соломы в дозе 2 т/га – 45, 38 и 28% соответственно.

6. В результате водной эрозии азот мигрировал по склону от места его внесения на расстояние 9 м в приводораздельной части склона, 11 м в средней части склона и 13 м в нижней части склона ЮВ экспозиции.

7. В эрозионном ландшафте на дерново-подзолистой почве наиболее экологически безопасный баланс азота удобрений складывался при локальном внесении азотных удобрений. Потери азота удобрений составляли на приводораздельной части склона 34%, средней части склона – 44 и в нижней части склона 52%, при локальном применении соломы в дозе 2 т/га – 32; 42 и 54% и значительно больше при разбросном внесении – 56; 63 и 72% соответственно.

Литература

- Капитанов А.Н., Явтушенко В.Е. Агроэкология почв склонов - М.: Колос, 1997. – С.5-20.
- Жилко В.В., Жуков И.И., Черныш А.Ф. и др. Потери гумуса и макроэлементов в процессах водной эрозии на дерново-подзолистых почвах Белоруссии// Агрохимия. - 1999. - №10. - С. 48-53.
- Явтушенко В.Е., Цуриков Л.Н., Шмырева Н.Я. Использование азота удобрений ячменем на дерново-подзолистой почве в эрозионном рельефе// Агрохимия. 1998. - №2. – С.53-59.
- Гамзиков Г.П., Костик Г.И., Емельянова В.Н. Баланс и превращение азота удобрений. – Новосибирск: Наука, 1985. – С. 6-88.
- Кореньков Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. - М.: Колос, 1999. – 296 с.
- Руделев Е.В. Минерализация – иммобилизация азота в основных типах почв России и эффективность азотных удобрений//Автореф. дис. д-ра биол. н. – М., 1992. – 34 с.
- Шмырева Н.Я. Использование растениями азота удобрений и его миграция в дерново-подзолистых почвах склонов Центрального Нечерноземья// Автореф. дис. канд. биол. н.- М., 1996. – 21 с.
- Минеев В.Г. Практикум по агрохимии. - М.: МГУ. 2001. - С.65-191.
- Руделев Е.В. Трансформация азота почвы и азота удобрений // Агрохимия. - 1989. - №4. - С. 113-123.
- Явтушенко В.Е., Шмырева Н.Я., Цуриков Л.Н. Баланс, трансформация и миграция азота удобрений в эрозионном ландшафте Центрального Нечерноземья // Агрохимия. - 2000. - №12. - С. 5-14.
- Вьюкова О.Б. Влияние локального внесения азотных удобрений совместно с ингибитором нитрификации на их эффективность: Автореф. дис. канд. биол. н. -М., 1983. -22 с.
- Нестерова Е.И. Дозы азотных удобрений для различных культур//Азот в земледелии Нечерноземной полосы. - М.: Колос, 1973. С.239-258.
- Тимофеев О.В. Влияние комплексного применения средств химизации на фитосанитарное состояние посевов и продуктивность ячменя в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России//Автореф. дис. канд. с.-х. н. - М., 2001. - 16 с.
- Соколов О.А., Семенов В.М. Теория и практика рационального применения азотных удобрений. - М.: Наука, 1992. - 207 с.
- Сендряков И.Ф., Овчинникова Н.Г., Вахрамеев Ю.И., Медведев С.С. Рекомендации «Локальное внесение минеральных удобрений в различных почвенно-климатических зонах СССР при интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур». – М.: АгроНИИТЭПП, 1988. – С. 5-26.

USE OF FERTILIZER NITROGEN BY BARLEY PLANTS AT DIFFERENT METHODS OF N FERTILIZATION IN AN EROSION LANDSCAPE

N.Ya. Shmyreva¹, O.A. Sokolov¹, L.N. Tsurikov¹, L.V. Prokhin¹, I.V. Pankratenkova²

¹Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agricultural Chemistry, Russian Academy of Agricultural Sciences, ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia

²Smolensk Research Institute of Agriculture, ul. Nakhimova 21, Smolensk, 214025 Russia

It was shown that in the loamy soddy-podzolic soil on a slope of southeastern exposure, a more ecological budget of fertilizer nitrogen was developed at the local application of fertilizers to barley. Barley used 30% of fertilizer nitrogen in the near-watershed part of the slope (2-3⁰), 24% in the middle part of the slope (4-5⁰), and 20% at the bottom of the slope (5-7⁰); 36, 32 and 28% of fertilizer nitrogen was immobilized in the soil, and 34, 44, and 52% of it, respectively, was lost.

Keywords: ¹⁵N stable isotope, eroded soddy-podzolic soil, nitrogen budget.